Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent

P. Champagne, R. Denis et C. Lebel

Direction de la recherche sur les pêches
Ministère des Pêches et des Océans
901 Cap Diamant, C.P. 15500
Québec, Québec G1K 7Y7

Juin 1983

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques
No 1711

SH
223
F55
NO.
1711

85-4252/

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Ces rapports contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution importante aux connaissances actuelles mais qui, pour une raison ou pour une autre, ne semblent pas appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Ils se distinguent des Rapports techniques par la portée du sujet et le lecteur visé; en effet, ils s'attachent principalement à des problèmes d'ordre national ou régional et la distribution en est généralement limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du Ministère des Pêches et des Océans, notamment gestion des pêches; techniques et développement, sciences océaniques et environnements aquatiques, au Canada.

Les Manuscrits peuvent être considérés comme des publications complètes. Le titre exact paraît au haut du résumé de chaque rapport, qui sera publié dans la revue *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* et qui figuera dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros de 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de manuscrits (Série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés en tant que manuscrits (Série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros allant de 901 à 1425 ont été publiés à titre de manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 ont été publiés à titre de Rapport manuscrits du Service des pêches et de la mer, Ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom de la série a été changé à partir du rapport numéro 1551.

La page couverture porte le nom de l'établissement auteur où l'on peut se procurer les rapports sous couverture cartonnée.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

These reports contain scientific and technical information that represents an important contribution to existing knowledge but which for some reason may not be appropriate for primary scientific (i.e. *Journal*) publication. They differ from Technical Reports in terms of subject scope and potential audience: Manuscript Reports deal primarily with national or regional problems and distribution is generally restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries management, technology and development, ocean sciences, and aquatic environments relevant to Canada.

Manuscript Reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report will be abstracted by *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and will be indexed annually in the Department's index to scientific and technical publications.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 901-1425 were issued as Manuscript Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426-1550 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Details on the availability of Manuscript Reports in hard copy may be obtained from the issuing establishment indicated on the front cover.

Rapport manuscrit canadien des
sciences halieutiques et aquatiques no 1711

Juin 1983

PÊCHES ET OCÉANS — CANADA
SEP 28 1983
QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE DES PÊCHES

Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent

par

P. Champagne, R. Denis et C. Lebel[1]

Direction de la recherche sur les pêches
Ministère des Pêches et des Océans
Laboratoire de Québec
C.P. 15 500
901, Cap Diamant
QUEBEC (Québec)
G1K 7Y7

[1] pour Les Consultants SOGEAM Inc., Longueuil

PREFACE

Ce rapport fait suite au contrat (FP401-1-1812) accordé à la firme les Consultants SOGEAM inc. par le ministère des Pêches et des Océans du Canada, en octobre 1981. M. Yvan Vigneault, de la Direction de la recherche sur les pêches, section de l'habitat du poisson, agissait à titre de délégué scientifique du Ministère et M. Robert Denis, comme chargé de projet pour le compte de la firme les Consultants SOGEAM inc.

Ministère des Approvisionnements et Services. Canada 1983
No de catalogue Fs 97-4/1711 ISSN 0706-6589

On devra référer comme suit à cette publication:

Champagne, P., R. Denis et C. Lebel. 1983. Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1711: viii + 60 p. et annexe.

TABLE DES MATIERES

	Page
LISTE DES CARTES	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
RESUME	VIII
1. INTRODUCTION	1
1.1 Problématique et objectifs de l'étude	1
1.2 Travaux antérieurs	1
2. METHODOLOGIE	3
2.1 Etudes préliminaires	3
2.2 Etudes sur le terrain	3
2.2.1 Etudes morpho-sédimentologiques	3
2.2.2 Etude phytosociologique	4
2.3 Analyse et interprétation des données	5
3. COMPOSANTES GENERALES DU MILIEU	5
3.1 Esquisse géologique et géomorphologique	5
3.2 Autres composantes du milieu	7
4. GEOMORPHOLOGIE ET PHYTOBIOLOGIE DE LA FRANGE LITTORALE	9
4.1 Types de rive	9
4.2 Zonation du littoral	9
4.2.1 Le bas estran	9
4.2.2 Le haut estran	10
4.3 Evolution récente de la frange littorale	15
5. DYNAMIQUE LITTORALE	17
5.1 En conditions de glace	17
5.1.1 Conditions générales du couvert de glace	17
5.1.2 Phases de l'évolution des glaces littorales	22

TABLE DES MATIERES (suite)

	Page
5.2 En conditions d'eau libre	29
5.2.1 Interprétation des données de sédimentation	29
5.2.2 Analyse des séries granulométriques	31
5.2.3 Bilan critique	31
6. ETABLISSEMENT DE MODELES	34
6.1 Données de base	34
6.2 Les modèles	35
6.3 Schéma d'analyse	36
7. IMPACTS DES AMENAGEMENTS SUR LE LITTORAL	40
7.1 Les aboiteaux	40
7.2 Les pêches à anguilles	40
8. CONCLUSION	41
EQUIPE DE TRAVAIL	42
REMERCIEMENTS	42
REFERENCES	42
ANNEXES	61

LISTE DES CARTES

		Page
Carte 1	Géologie du Quaternaire (en annexe)	65
Carte 2a	Zonation morpho-sédimentologique et végétale de la frange littorale (stations-témoins 1, 2, et 3) (en annexe)	66
Carte 2b	Zonation morpho-sédimentologique et végétale de la frange littorale (stations 4, 5 et 6) (en annexe)	67

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Territoire à l'étude et stations-témoins	2
Figure 2	Caractéristiques des vents	8
Figure 3a*	Profils stratigraphiques aux stations-témoins 1, 2 et 3	53
Figure 3b*	Profils stratigraphiques aux stations-témoins 4, 5 et 6	54
Figure 4a*	Profils de la végétation aux stations-témoins 1, 2 et 3	55
Figure 4b*	Profils de la végétation aux stations-témoins 4, 5 et 6	56
Figure 5*	Baie de Kamouraska: schéma de la stratigraphie de l'estran	57
Figure 6a,b	Baie de Kamouraska: granulométrie des matériaux	18-19
Figure 7a	Couverture de glace sur le moyen estuaire du Saint-Laurent entre La Pocatière et Rivière-du-Loup (hiver 1973-1974)	20
Figure 7b	Couverture de glace sur le moyen estuaire du Saint-Laurent entre La Pocatière et Rivière-du-Loup (hiver 1978-1979)	21
Figure 8a*	Profils de la glace de rive aux stations-témoins 1, 2 et 3	58
Figure 8b*	Profils de la glace de rive aux stations-témoins 4, 5 et 6	59
Figure 9	Mesures sédimentologiques saison (1981-1982) aux stations-témoins	30
Figure 10*	Profils stratigraphiques des deux principaux types d'estran dans la région de Kamouraska	60
Figure 11	Baie de Kamouraska, coupe schématique d'une mare	37
Figure 12	Modèle d'analyse de la dynamique littorale sur un estran vaseux (Kamouraska)	38

*Ces figures ont été placées à la fin du rapport.

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Altitudes limites des zones phytobiologiques et pourcentages d'immersion	13
Tableau 2	Sommaire des caractéristiques de la glace de rive aux stations-témoins	25
Tableau 3a	Granulométrie des échantillons de vase prélevés près des repères sédimentologiques (stations-témoins 1, 2 et 3)	32
Tableau 3b	Granulométrie des échantillons de vase prélevés près des repères sédimentologiques (stations-témoins 4, 5 et 6)	33

RESUME

Champagne, P., R. Denis et C. Lebel. 1983. Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1711: viii + 60 p. et annexe.

La mise en oeuvre du projet de construction d'aboiteaux afin d'assécher les estrans de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent dans la région de Kamouraska risque de modifier la zonation littorale des agents qui façonnent ces habitats riverains en conditions naturelles. C'est pourquoi une recherche morphologique et phytobiologique a été entreprise afin d'examiner les composantes générales du milieu, la zonation, la typologie et la dynamique littorale. Ces paramètres ont permis d'établir des modèles caractéristiques de l'équilibre dynamique des estrans et de fournir un schéma d'analyse des impacts des aménagements sur le littoral.

Mots clés: dynamique littorale, battures, Kamouraska, modèle.

ABSTRACT

Champagne, P., R. Denis et C. Lebel. 1983. Etablissement de modèles caractérisant l'équilibre dynamique des estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1711: viii + 60 p. et annexe.

The implementation of the breakwater building project, in order to dry up the tidal flats on the south shore of the St.Lawrence estuary in the Kamouraska region, could modify the coastal zonation of the different processes that make up these riparian habitats under natural conditions. A morphological and phytobiological research was conducted to examine the general components of this ecosystem together with the littoral zonation, typology and dynamics. These parameters set up typical models of the dynamic equilibrium of those tidal flats and provide an analytical method of assessment of development impacts on the shore.

Key words: littoral dynamic, tidal flats, Kamouraska, model.

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique et objectifs de l'étude

La mise en oeuvre du projet de construction d'aboiteaux afin d'assécher les estrans de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent dans la région de Kamouraska risque de modifier la zonation littorale et l'action des agents qui façonnent ces habitats riverains en conditions naturelles. A partir de cette problématique, une proposition spontanée d'études a été préparée par Les Consultants SOGEAM Inc., secondée par Pêches et Océans, soumise puis acceptée, en 1981, par le ministère des Approvisionnements et Services, Canada.

Cette étude morphologique et phytobiologique a porté sur les estrans de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, entre Rivière-Ouelle et Andréville (figure 1). Les objectifs poursuivis étaient les suivants:

- caractériser de façon détaillée la zonation morphologique et phytobiologique du littoral;

- identifier le rôle respectif des divers agents hydrodynamiques (courants, vagues, glaces) qui façonnent les marais intertidaux;

- définir, si possible, les tendances actuelles de l'évolution de la frange littorale;

- élaborer des modèles des mécanismes en jeu, compte tenu des composantes du milieu;

- évaluation des répercussions produites sur l'environnement, entre autres sur l'habitat du poisson, par l'aménagement d'ouvrages, tels des aboiteaux, sur les estrans étudiés.

1.2 Travaux antérieurs

Plusieurs auteurs ont accompli des travaux de recherche dont certains se poursuivent encore. Les ouvrages consultés ou cités dans ce rapport apparaissent en liste bibliographique. Parmi les principaux auteurs qui se sont intéressés à l'estuaire moyen du Saint-Laurent ou à la région à l'étude, les noms suivants et leur domaine de spécialité respectif viennent à l'esprit: Dionne, J.C., en morphologie littorale, Locat, J. et Martineau, G. en géologie du Quaternaire, Sérodes, J.B. et d'Anglejan, B. en sédimentologie. En biologie végétale, il convient de mentionner les noms de Cantin, M., de Lavoie, V. et Brind'Amour, M., du Groupe Dryade, de Gauthier, B. et de Doran, M.A. Les travaux de ces 2 derniers biologistes ont retenu davantage notre attention parce que la zonation du littoral qu'ils proposent réfère au système hydrographique et non géodésique; ce qui est indispensable pour bien situer l'activité des facteurs de la dynamique littorale.

Pour l'évaluation des impacts sur l'habitat du poisson résultant de la construction des aboiteaux, les données à l'étude (à paraître) de Dutil, J.D. et Fortin, M. ont été utilisées dans ce rapport-ci. Parmi les biologistes qui se sont intéressés aux répercussions de la mise en place des aboiteaux sur l'habitat de la faune terrestre ou avienne, les noms de Gauthier, J., Lehoux, D. et Rosa, J. (1980) doivent être cités. En contrepartie, l'étude de Gourde, G.(1980) qui fait état des préoccupations du ministère de l'Agriculture mérite d'être signalée. Enfin, Lemieux, G. (1980) et le Conseil Consultatif de l'Environnement (1982) ont exprimé dans leurs rapports respectifs, remis aux autorités gouvernementales, leur avis sur le problème posé.

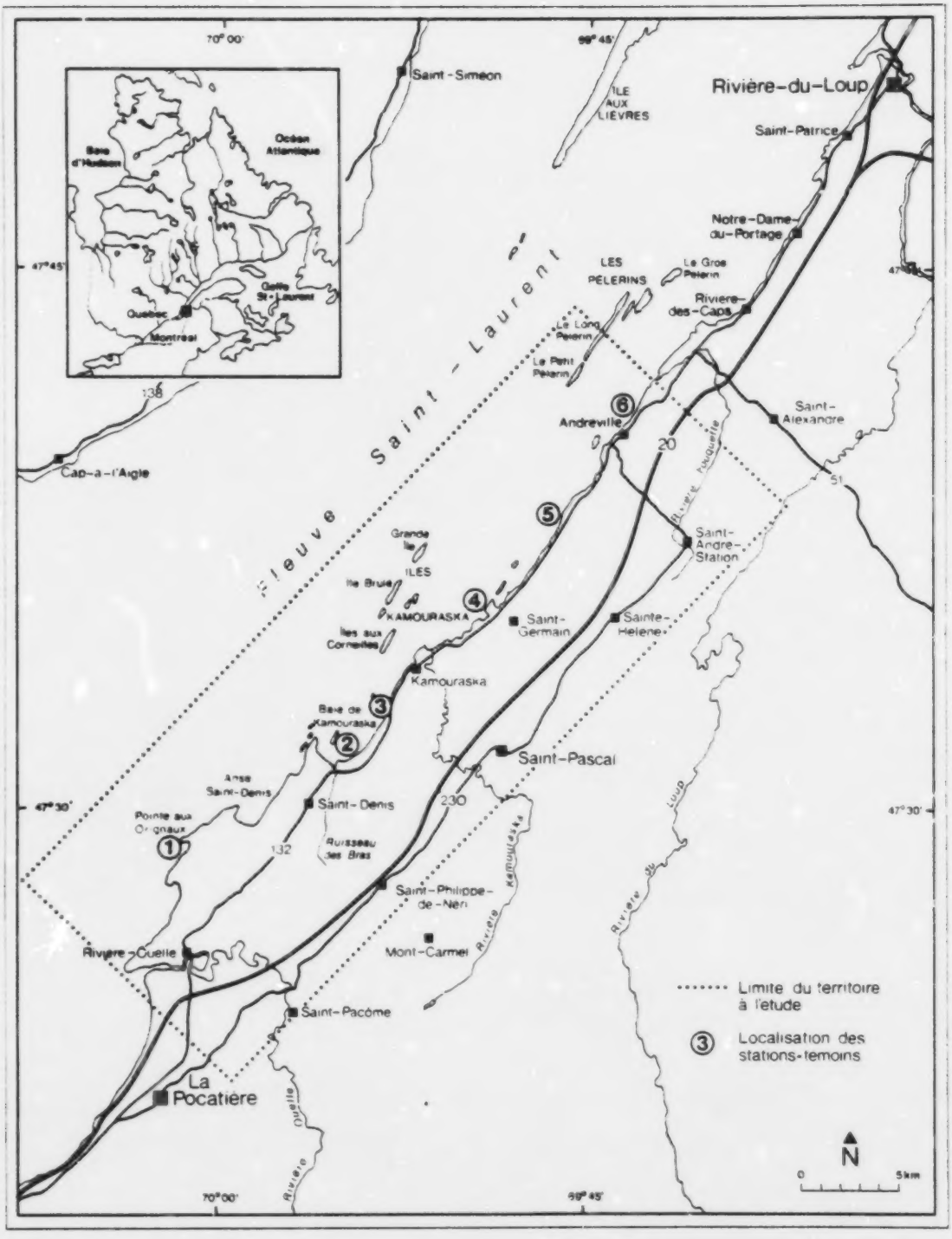


Figure 1.

Territoire à l'étude et stations-témoins.

2. METHODOLOGIE

Pour atteindre les objectifs visés, des études préliminaires ont été entreprises, suivies de travaux sur le terrain puis d'une analyse et d'une interprétation des données recueillies.

2.1 Etudes préliminaires

Les études préliminaires ont révisé les principaux documents et données pertinentes à la région et aux questions abordées. Ces documents consultés, dont certains ont été cités dans le texte, apparaissent à la fin du rapport.

Parallèlement à la revue bibliographique s'effectuaient une analyse et une interprétation d'images Landsat et de photographies aériennes en noir et blanc à des échelles voisines de 1:15 840, prises en 1961, 1974 et 1980 et à des échelles de 1:40 000, prises en 1948 et 1978. La photo-interprétation a permis de caractériser les principales composantes du milieu physique, de préciser les tendances de l'évolution de la frange littorale et de procéder à la zonation morpho-sédimentologique et phytobiologique de celle-ci.

2.2 Etudes sur le terrain

Une visite préliminaire des lieux a permis de prendre connaissance des conditions morpho-sédimentologiques et phytobiologiques générales du littoral et d'élaborer une légende cartographique adéquate.

2.2.1 Etudes morpho-sédimentologiques

Par la suite, 6 stations-témoins ont été établies dans des secteurs représentatifs, par rapport à leur morpho-sédimentologie et à leur exposition, de l'ensemble du littoral qui s'étend de la Rivière-Ouelle à Andréville. Ces lignes ont été nivelées, arpentées et raccordées au zéro des cartes marines. Le facteur de correction entre le système géodésique et le système hydrographique varie pour chacune des stations-témoins en fonction de sa distance entre le port de référence secondaire de Pointe-aux-Orignaux (=2,99 m) et celui de Rivière-du-Loup (=2,64 m). Ce facteur correspond à 2,99 m pour la station #1, 2,93 m pour les stations #2 et #3, 2,87 m pour la station #4, 2,82 m pour la station #5 et 2,78 m pour la station #6 (figure 1).

Des plaques de sédimentation, au nombre de 43, ont été implantées le long de ces transects, à l'automne 1981. Cette période fut retenue car il s'agit de la saison où l'on observe les conditions de base du profil topographique de l'estran. En effet, la plupart des plaques furent installées sur un horizon-repère de sable, de graviers et de cailloux (gravel lag) qui se retrouve dans la région au-dessus des sédiments de la mer post-glaciaire appelée mer de Goldthwait, ancêtre de l'estuaire actuel.

Les repères sédimentologiques sont faits de plaques de fer de 100 cm^2 soudées à une tige d'une longueur de 1,5 m. Ils ont la forme d'un T dont la tête se confond parfaitement avec la surface du sol. Ces repères furent positionnés précisément par nivellement et ils furent jumelés à une borne métallique placée à un mètre de la plaque pour faciliter son repérage. Lors du suivi des repères, l'accumulation de matériaux était mesurée sur les plaques à l'aide d'une règle graduée. De fait, la revue des plaques a été faite à chacune des saisons d'un cycle annuel de marées.

Cette technique fut privilégiée pour sa fiabilité à d'autres techniques comme celle de la pose des jauges. Celle-ci, éprouvée dans un milieu où la sédimentation est importante, s'avère imprécise dans un milieu où la sédimentation est faible à cause de la turbulence

des courants à la base du piquet. De plus, les jauges ne résistent pas à l'action des glaces.

En même temps que s'effectuait cette revue, des sondages à la tarière étaient réalisés dans le but de connaître la composition et la stratigraphie des sols. Des échantillons de ceux-ci ont été prélevés pour fins d'analyse granulométrique. Des observations étaient également faites concernant la dynamique des agents d'érosion naturelle; il en sera fait mention dans les chapitres subséquents.

A toutes ces études morpho-sédimentologiques, il faut ajouter les études sommaires portant sur les formes de terrain et la géologie des dépôts meubles laissés par les glaciers et la mer de Goldthwait dans l'arrière-pays contigu au littoral, au cours de la dernière période géologique dite du quaternaire. Des visites dans les gravières et les coupes de terrain de la région ont permis de prendre connaissance de la nature et de la stratigraphie de ces dépôts. Des échantillons de coquillages et de bois ont été prélevés tant à la limite du littoral actuel que sub-actuel dans le but de les faire dater au ^{14}C. Par ailleurs, l'altitude des principaux niveaux de terrasse a été relevée à l'aide d'altimètres Paulin (précision: ±0,5 m) avec contrôles aux diverses bornes géodésiques de la région.

2.2.2 Etude phytosociologique

L'étude phytosociologique des 6 stations-témoins fut réalisée du 21 juin au 2 juillet 1982. Le long de ces transects, on a noté les variations topographiques qui ont servi par la suite à établir les limites altitudinales des groupements végétaux rencontrés. On a aussi déterminé les zones homogènes et tenu compte du chaînage des limites inférieures et supérieures. A l'intérieur de chaque zone, les espèces présentes ont été relevées en retenant toutefois les espèces dominantes. La nomenclature des taxons vasculaires utilisée est celle de Marie-Victorin (1964). A partir de ces observations, on a nommé les groupements végétaux rencontrés d'après les classifications de Dansereau (1959), de Blouin et Grandtner (1971) ou de Lavoie-Brind'Amour (1981).

Il faut préciser ici qu'après discussions avec Marie-Andrée Doran, biologiste spécialisée dans ce domaine, il a été convenu d'appeler le marais intertidal la portion de l'estran où s'amorce le talus du profil topographique et qui comprend la zone pure de spartines alterniflores et les zones adjacentes où elle est associée à d'autres espèces ainsi que la zone de vasière. C'est dans la portion supérieure du marais qu'on observe les mareilles. Au-delà, sur un plan légèrement incliné, s'étend le marécage intertidal avec ses grandes mares. Il est constitué de la zone de spartine étalée et de l'herbaçaie salée.

Pour l'identification des rhizomes de spartines, on a recueilli des mottes de sol à différents endroits, le long des tranchées de drainage creusées dans le marécage intertidal. Suivant Doran (1978), les échantillons déposés sur un tamis furent lavés avec un jet d'eau froide. Les échantillons prélevés dans l'argile furent d'abord trempés durant 12 à 24 heures dans de l'eau très chaude, puis lavés au jet d'eau froide. Les racines et les rhizomes ainsi isolés furent fixés et conservés dans une solution de FAA70%.*1

A partir d'échantillons-témoins, les racines et les rhizomes recueillis furent identifiés. Pour la détermination de l'espèce, les principaux critères utilisés ont été le diamètre des rhizomes et des racines, la coloration, les espaces inter-nodaux, la grosseur des noeuds, l'abondance des ramifications.

*1 Cette solution correspond à un mélange de formaline, d'acide acétique et d'alcool à 70%.

2.3 Analyse et interprétation des données

A partir des levés topographiques, les profils des stations-témoins ont été dessinés en y consignant tantôt les informations géologiques, tantôt les données de végétation et celles relatives aux glaces. Les altitudes-limites des zones phytobiologiques et les pourcentages d'immersion ont aussi été regroupés dans un même tableau. Ces 2 critères déjà privilégiés par Doran (1981) et Gauthier (1978) ont été utilisés pour la zonation végétale du littoral.

Une cartographie de la géologie du quaternaire a été réalisée à l'échelle du 1:100 000 alors que des cartes de la morpho-sédimentologie et de la végétation du littoral ont été produites à l'échelle du 1:20 000. Les résultats des analyses granulométriques et sédimentométriques effectuées par les Laboratoires Ville-Marie inc. ont été transposés sur graphiques semi-logarithmiques et ont fait l'objet d'une classification dimensionnelle afin de préciser la texture des dépôts de chacune des zones du littoral. Par ailleurs, le taux de sédimentation saisonnier et annuel fut calculé pour chacune des plaques sédimentologiques des 6 stations-témoins. L'analyse du pourcentage en poids de matière organiques de certains échantillons de sol a été faite par combustion à 550°C.

Quant aux analyses au radiocarbone ^{14}C de quelques échantillons de coquillages, elles ont été menées par le Centre de recherches minérales du ministère de l'Energie et des Ressources du Québec et par la Division des Laboratoires Geochron de la compagnie Krueger Enterprises Inc. Les datations obtenues ont permis d'évaluer le taux d'immersion du littoral tenant compte du taux de sédimentation et du relèvement isostatique du continent suite au départ des glaciers du quaternaire.

De toutes ces données, un modèle d'analyse de la dynamique littorale a été dégagé qui indique les zones affectées par les agents et les processus naturels. Finalement, un bilan des impacts causés par la construction des aboiteaux sur le milieu riverain et particulièrement sur l'habitat du poisson a été dressé.

3. COMPOSANTES GENERALES DU MILIEU

3.1 Esquisse géologique et géomorphologique

Le territoire à l'étude, qui est une portion du littoral de la rive sud du moyen estuaire du Saint-Laurent, s'inscrit dans un contexte physique régional dont voici les principales composantes.

Il y a d'une part la bande côtière proprement dite qui occupe la presque totalité de la superficie cartographiée (carte 1) et d'autre part la bordure du plateau appalachien.

- Géologie de la roche en place

Le soubassement rocheux de l'ensemble du territoire est constitué de roches sédimentaires formées dans les mers cambriennes et ordoviciennes (Hubert, 1973). Ces formations rocheuses, au cours de ces mêmes périodes géologiques, ont été soulevées et plissées. Il en est résulté une succession de crêtes disposées en échelon et de vallons parallèles d'orientation SO-NE, le tout étant légèrement en oblique par rapport au trait de côte.

Les Îles de Kamouraska et Les Pèlerins ainsi que les caps et les crêtes allongés qui percent la plaine côtière sont généralement constitués d'orthoquartzites et de grès résistants. Les baies et les anses qui sont au débouché des vallons sont plutôt composées de shales, de calcaires, de conglomérats et autres roches tendres.

La bordure du plateau appalachien suit une ligne qui passe par la localité de Saint-Pacôme, et derrière Saint-Philippe-de-Néri, Saint-Pascal et Sainte-Hélène. Elle est caractérisée par la structure typique décrite plus haut et sa composition lithologique est comparable à celle de la bande côtière. Les rivières Ouelle et Kamouraska recoupent les plis appalachiens. Au point de vue topographique, la limite entre ces deux milieux peut s'établir à 76 m*.

Depuis la mise en place de ces reliefs jusqu'à la dernière période géologique, soit celle du Quaternaire, il n'existe pas d'indices permettant de reconstituer la chronologie des événements au cours desquels le paysage de la région à l'étude a pu être façonné.

- Géologie du Quaternaire

A la fin du Quaternaire, plus particulièrement lors de la dernière glaciation, celle du Wisconsin, il y eut mise en place de dépôts morainiques et façonnement de formes d'érosion glaciaire. Lors du retrait des glaces, il y a environ 14 000 ans, deux masses glaciaires s'isolèrent l'une par rapport à l'autre, à la faveur de la progression d'une baie de vêlage, soit: la calotte continentale (inlandsis) laurentidienne et la calotte régionale appalachienne (Dionne, 1972). L'écoulement de cette dernière vers le Nord et le NE, transversal à celui de l'inlandsis, fut guidé en partie par l'orientation de la structure appalachienne (Denis, 1973). Des roches moutonnées et des microformes d'érosion en témoignent sur les îlots de la zone côtière. Il y a plus de 12 500 ans, la moraine de Saint-Antonin fut déposée au front glaciaire (Lee, 1962 et Gadd, 1964). La mer post-glaciaire de Goldthwait (Elson, 1969) s'infiltra alors entre les deux masses de glace et accéléra le recul de leur marge. L'altitude maximale de la submersion marine dans la région serait environ 165 m. Cette limite est attestée par la présence de terrasses deltaïques fluvio-glaciaires, notamment à Saint-Pacôme (Dionne, 1966 et Martineau, 1977).

A la suite du départ des glaces, l'émersion des terres s'amorça rapidement, à raison de 1,0 à 4,0 cm/an environ (Locat, 1976). Des terrasses marines observées près de Saint-Pacôme, au niveau de 150-152 m ainsi que des plages et un delta, entre 91 et 107 m (Dionne, 1966) témoignent du début du relèvement durant la phase glacio-marine. D'autres terrasses secondaires apparaissent à des niveaux inférieurs: 40 m et 68 m, par exemple, où l'on a noté la présence de dépôts fluvio-glaciaires coiffés de dépôts remaniés sous forme de plages par la mer de Goldthwait. Ces terrasses, comme d'autres, à des niveaux inférieurs (18 m, 24 m, 30 m...) sont souvent accrochées à des crêtes rocheuses. Les talus d'érosion de plusieurs d'entre elles apparaissent comme des anses mortes à l'extrémité des vallons ou dans des rentrants de falaises mortes. On remarquera, en outre, à différents niveaux l'existence de tourbières au sein des vallons. Certaines d'entre elles font l'objet d'une exploitation, notamment entre les localités de Saint-Denis et de Rivière-Ouelle et près de la Pointe-aux-Orignaux.

Il y a environ 10 000 ans, le taux de relèvement passa à 1,0 cm/an. A l'occasion de périodes de stabilité relative du plan d'eau, se forma la terrasse Mic Mac (29-30 m) (Goldthwait, 1911). La falaise du même nom fut dégagée, il y a moins de 8 000 ans. Cet abrupt qui s'étire depuis Québec jusqu'à Saint-Anne-des-Monts traverse la région à l'étude en suivant une ligne qui va de Saint-Pacôme à Andréville. Au pied de cette falaise, la terrasse d'accumulation Mitis (5-6 m) se serait construite entre 8 000 et 2 000 ans avant le temps présent. Depuis lors, prévalent les conditions estuariennes actuelles qui favorisent la formation de la terrasse Rimouski alors que le taux d'émersion

* Toutes les données d'altitude des terrasses contenues dans ce chapitre se rattachent au système géodésique.

est inférieur à 2 mm/an (Locat, 1976). Plus loin dans le texte, on présentera une étude détaillée de l'évolution récente de la frange littorale.

Pour clore ces considérations de géologie du Quaternaire, on peut mentionner que la plus grande épaisseur de sédiments marins enregistrée jusqu'à présent dans la région à l'étude, est de 48,7 m. Cette donnée provient d'un trou de forage percé à 2,5 km au NE de la municipalité de Kamouraska. A ce site, la roche en place n'a pas été atteinte (min. de l'Environnement, Service des eaux souterraines, 1978).

3.2 Autres composantes du milieu

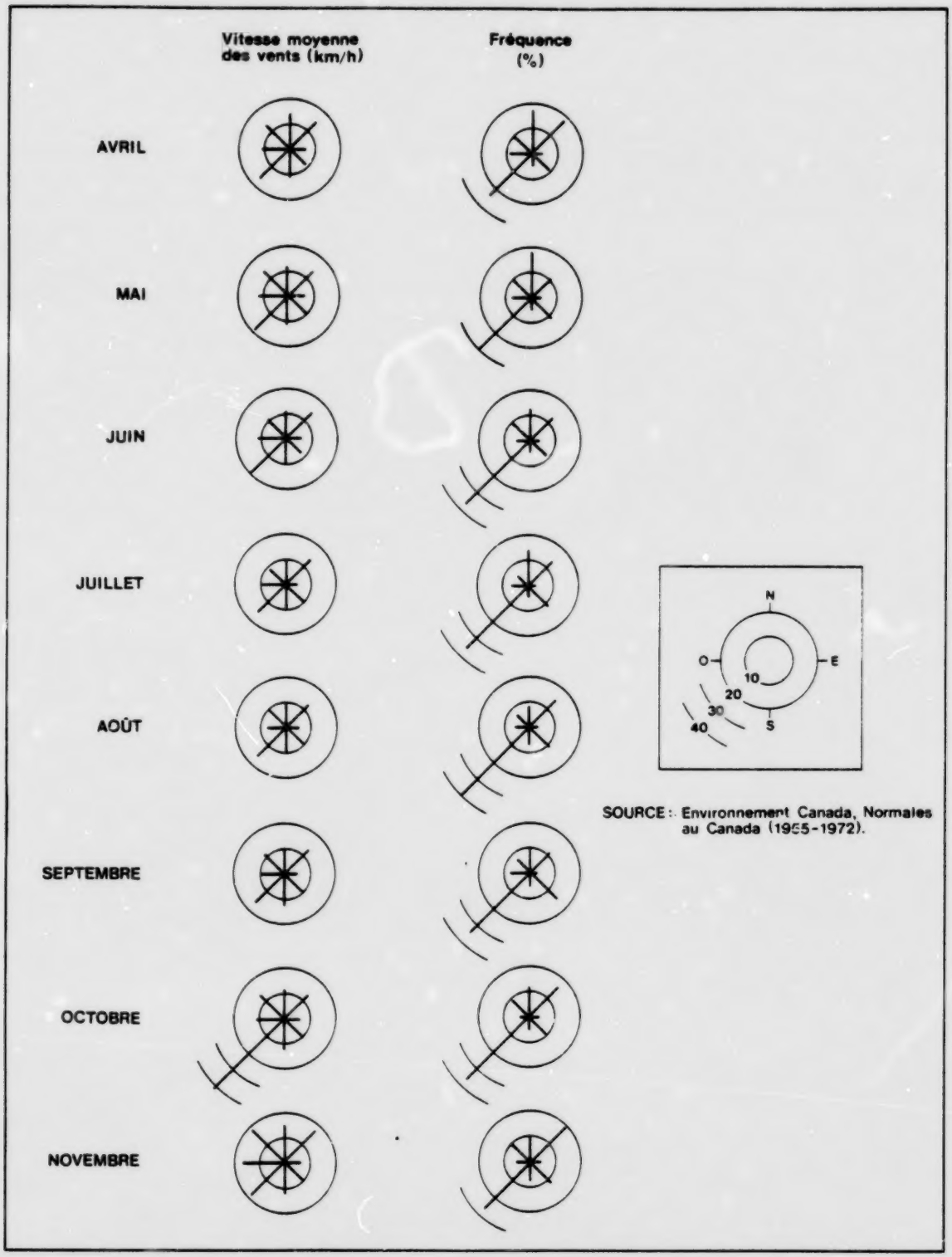
Sur la terrasse Mitis, se sont développés en particulier les sols de la série de l'Anse. Il s'agit de loams argileux qui se situent surtout entre les élévations géodésiques 2,5 m et 7,5 m (Gourde, 1980). Ce sont des sols à haut potentiel agricole, mais qui sont mal drainés et envahis par les plus hautes marées et que le ministère de l'Agriculture du Québec et les agriculteurs concernés ont entrepris de récupérer et d'améliorer. Pour ce faire, ils ont amorcé en 1977, la construction d'aboiteaux. Cet aménagement qui est en voie de parachèvement vise l'amélioration de 9 505 acres et la récupération de 1 505 acres dans les limites des 5 municipalités du littoral étudié, ce qui inclut les battures de La Pocatière (figure 1). Dans le secteur étudié, la longueur de la frange littorale où l'on s'adonne à l'agriculture est de 27 km sur une longueur totale de 60 km.

Par ailleurs, mentionnons que le marécage intertidal qui est visé par les aménagements agricoles est considéré par les écologistes comme un habitat privilégié pour la faune avienne en particulier mais aussi pour les faunes terrestres et aquatiques.

Dans cette étude qui porte sur la dynamique de cette frange littorale, il convient de connaître certaines caractéristiques de la mer qui la façonne. Dans la région de Kamouraska, les marées de régime semi-diurne ont une amplitude moyenne de 4,2 m. D'après la distribution des fréquences des niveaux d'eaux prédits à Pointe-aux-Orignaux pour la période 1963-1982, les niveaux atteints lors des grandes marées de vives eaux d'équinoxe sont respectivement de 6,0 m pour les hautes mers et de 0,1 m pour les basses mers. Le niveau marin moyen serait de 3,16 m. Sur une base annuelle, la salinité et la température de l'eau en surface sont très variables. L'été, les valeurs moyennes de salinité seraient de 20 $^{0}/_{00}$ et celles de température de 10°C (Ouellet et Cerceau, 1976).

Finalement, étant donné l'importance des vents comme facteur du soulèvement des vagues qui modifient sensiblement le littoral, voici quelques données fournies à cet effet par la station Environnement Canada de La Pocatière. Ces informations qui apparaissent dans la figure 2 indiquent que durant la période libre de glace, les vents dominants soufflent toujours du SO. Les fréquences mensuelles de cette direction oscillent entre 28% (novembre) et 41% (août), la moyenne étant de 34%. Quant aux vitesses moyennes mensuelles, elles sont les plus grandes en octobre où les vents du SO soufflent à 42 km/h. Ces conditions conjuguées avec celles des pleines mers de vive eau jouent un rôle majeur dans la dynamique littorale.

Le fetch (longueur de la course libre du vent sur l'eau) de ces dominants du SO peut atteindre 50 km dans la baie voisine de la Pointe-aux-Orignaux. Par contre, plusieurs anses et baies sont exposées aux vents secondaires (de fréquence: 10 à 15%, et de vitesse: 10-15 km/h) du Nord, du NO et du NE ou sont abritées derrière des îles comme la baie de Kamouraska. Le fetch, dans ces derniers cas, varie de quelques km à quelques dizaines de km.



SOURCE : Environnement Canada, Normales au Canada (1955-1972).

Figure 2

Caractéristiques des vents (Station de La Pocatière ; 1962-1966).

4. GEOMORPHOLOGIE ET PHYTOBIOLOGIE DE LA FRANGE LITTORALE

4.1 Types de rive

La synthèse des données tirées de l'interprétation des photographies aériennes d'échelles variées et une campagne de terrain réalisée en juin-juillet 1982 ont servi à dresser une carte à l'échelle du 1:20 000 de la géomorphologie et de la phytobiologie de la frange littorale entre Rivière-Ouelle et Andréville (cartes 2a et 2b).

Le travail cartographique porte sur la frange littorale ou estran, soit une zone définie comme s'étendant de la limite inférieure à la limite supérieure du plan d'eau lors des grandes marées de vive eau. La zonation du littoral comprend de nombreuses unités qui varient en fonction du type de rive.

La frange littorale se subdivise en deux grands types de rives: celles où le haut estran a un faciès rocheux et celles où il a un faciès vaseux. Prat (1933), Hamel (1955) et Dryade (1980) s'entendent pour affirmer que les plantes s'associent à ces deux grands types de faciès le long de l'estuaire du Saint-Laurent.

Quant au bas estran qui prolonge ces deux types de haut estran, il est homogène dans les deux cas et ne constitue donc pas l'élément discriminant dans la définition des types de rive.

4.2 Zonation du littoral

4.2.1 Le bas estran

Le bas estran comprend la zone située entre les altitudes 0 des cartes marines et le niveau marin moyen. Cette unité est formée d'une surface plane et régulière caractérisée par un horizon de sable, de graviers et de cailloux recouverts par endroits d'une mince couche de vase sablonneuse.

La pente de cette unité varie de 0,1% en face des Îles Kamouraska à 4% en contrebas de la rive rocheuse à Pointe-aux-Orignaux. La pente moyenne est de 0,2%.

L'horizon de sable, de graviers et de cailloux est très caractéristique car il tranche nettement avec la pellicule de vase sablonneuse qui le recouvre et avec le matériel très fin composé de silt et d'argile qui lui est sous-jacent (figures 3a et 3b). En effet, plus de 300 sondages ont révélé que cet horizon a une épaisseur homogène de 10 cm à 30 cm et qu'il recouvre toujours le même matériau gris ou rougeâtre composé d'argile et de silt. On associe ce dernier matériau fin aux argiles de la mer de Goldthwait déjà décrites dans le chapitre précédent.

La fraction sablonneuse de l'horizon de sable, de graviers et de cailloux a été échantillonnée le long des stations #1 et 2 (figure 3a). La taille médiane des grains paraît diminuer du bas vers le haut des stations. Ainsi, malgré la stabilité apparente de cette surface, les courants semblent pouvoir trier la fraction fine du matériau. La fraction de matière organique contenue dans cet horizon caractéristique est très faible et serait inférieure à 0,7% sur le bas estran de la station #1.

Grâce à quelques sondages réalisés à la station #3, à l'aide d'une tarière de 3m, on a constaté que les argiles de la mer de Goldthwait sont très homogènes en profondeur. Toutefois, lorsque le matériau a atteint une teinte rougeâtre, la fraction silteuse est plus importante et il est moins plastique.

A la station de Pointe-aux-Orignaux, le bas estran fait partie d'une baie encadrée par deux affleurements rocheux. La roche en place

se retrouve à moins de 3 m sous la surface du bas estran. Aux autres stations, la profondeur du substratum rocheux dépasse largement les profondeurs atteintes par nos sondages. Rappelons que l'analyse des forages de pulsatiers a révélé que l'épaisseur des dépôts de la mer de Goldthwait était supérieure à 40 m, par endroits.

Le bas estran de la station #6, dans les limites du village de Andréville, diffère de tous les bas estrans déjà décrits. En effet, le matériau est homogène de la surface à plus de 8 m de profondeur et il est composé de silt sablonneux (figure 3b).

Sur les profils des stations #1 et 3, on observe la présence de cailloux et de blocs dans la partie inférieure du bas estran. Cela est caractéristique de certaines sections du littoral (voir carte 2a). Néanmoins, ces accumulations de blocs demeurent des apports récents qui recouvrent les unités stratigraphiques déjà décrites.

Par ailleurs, on remarque à la surface de l'ensemble des bas estrans des blocs erratiques dispersés, d'échelle métrique. Leur nombre est relativement restreint si on le compare à celui calculé à la surface des estrans dans la région de Trois-Pistoles - Matane (Dionne, 1972 et Tremblay, 1967).

Le nombre de radeaux de végétation arrachés par les glaces sur le haut estran et délestés sur la surface du bas estran est lui aussi relativement faible. La plus grande concentration de tels radeaux se trouve dans le fond de la baie de Kamouraska, en face de la station-témoin #2.

L'horizon de sable, de graviers et de cailloux qui coïncide avec la surface de la vasière forme une carapace difficile à éroder. Cela explique la régularité de cette surface et l'absence de chenaux de marée. L'écoulement des eaux, lors du jusant, se fait plutôt en nappe et s'étale à la surface du bas estran. Les petits tributaires qui recoupent le littoral se comportent de la même manière.

Les graviers, les cailloux et les blocs qui jonchent la surface du bas estran sont colonisés par les fucacées. Quant à la matrice sablonneuse, elle forme un habitat benthique privilégié pour les polychètes et les crustacés.

4.2.2 Le haut estran

- Rive rocheuse

Ce type de rive ne fait pas l'objet d'une description détaillée car il suscite moins d'intérêt en terme de dynamique littorale, il est peu propice au développement de la végétation et il ne supporte pas une importante faune benthique.

Sa partie basse située entre les altitudes 3,1 et 5,0 m est caractérisée par une surface irrégulière formée de couches subverticales de grès ou de quartzites qui furent débarrassées des schistes plus tendres les entourant. Ces dépressions sont quelquefois recouvertes d'un mince placage de vase sablonneuse colonisée par la spartine alterniflore.

Les schistes se révèlent très sensibles à la gélifraction. Ils fournissent de nombreux fragments de roche qui sont repris par les vagues et redistribués sur la rive. Ce processus a été bien décrit par Guilcher sur les plates-formes rocheuses de la région de Rimouski:

> "La gélifraction est favorisée par la multiplicité de petites mares sans profondeur (quelques centimètres seulement) dont l'eau gèle facilement à basse mer parce qu'elles n'ont aucune réserve thermique qui pourrait

ralentir leur gel par convection, à l'inverse des eaux où la profondeur est de quelques mètres ou davantage. La gélifraction des schistes consiste en un émiettemnt en plaquettes totalement anguleuses. Ces plaquettes forment un remblaiement pelliculaire qui comble les dépressions entre les micro-arêtes structurales: plages de remblaiement et roche fournisseuse de débris alternent sur le même plan pour constituer un platier où les inégalités ne sont que décimétriques. Une partie des plaquettes est transportée par les vagues en haut estran, où elles constituent un cordon dont le sommet est au niveau des tempêtes, et où les plaquettes n'ont, le plus souvent, pratiquement pas encore été usées."

(Guilcher, 1981, p. 158)

Précisons que les vagues sont les principaux agents responsables de la mise en place des plages et que celles-ci furent construites lors des pleines mers de vives eaux entre les altitudes 5,1 et 6,0 m. Les plages sont généralement associées aux estrans peu étendus. Ces accumulations occupent une faible partie de la côte et elles sont généralement minces et peu développées.

Le haut de la plage est surtout colonisé par l'élyme des sables (Elymus arenarius), le lyseron des haies (Convolvulus sepium), le caquillier édentulé (Calcile edentula) et la livèche écossaise (Ligusticum scothicum). Les groupements végétaux observés sur le haut de plage à la station #1 ressemblent à ceux rencontrés sur un faciès rocheux.

Historiquement, les arpenteurs considérèrent l'altitude de l'élyme des sables comme niveau maximum atteint lors des pleines mers de vive-eau. Cette espèce végétale marquerait donc la frontière entre le domaine marin et le domaine terrestre. Les relevés effectués dans la région de Kamouraska confirment l'exactitude de ces propos et précisent ces limites altitudinales. En fait, les premiers individus d'élyme des sables se situent à 6,0 m et les groupements proprement dits de cette espèce à l'altitude 6,2 m.

- Rive vaseuse

La zonation d'une rive vaseuse est avant tout caractérisée par un changement des groupements végétaux, les différences morpho-sédimentologiques étant peu marquées.

Il existe deux types de contacts entre le haut et le bas estran. Le premier type est caractérisé par un micro-talus de 10 cm à 30 cm de haut qui sépare la vasière du haut estran (stations-témoins #1, 2 et 4). Le deuxième type de contact est beaucoup moins net que dans le premier cas et il empiète sur le bas estran. Cette zone de transition située entre les altitudes 2,5 m et 3,1 m correspond à la zone de spartine et fucus (Blouin et Grantner, 1971).

- Zone de spartine alterniflore et de fucus

Dans cette zone de transition, les fucacées accompagnent la spartine alterniflore. La spartine colonise de petits monticules de sable silteux aux formes arrondies. Ces derniers occupent environ 50% de la superficie totale, l'horizon de sable, de graviers et de cailloux occupant le reste. En fonction des limites altitudinales de cette zone qui passent de 2,5 m à 3,1 m, les pourcentages d'immersion correspondant sont de 65% à 53% (tableau 1). Cette zone a été observée à 3 des 6 transects (figures 4a et 4b; profils 3, 5 et 6).

- Zone de spartine alterniflore

Cette zone dont les limites altitudinales varient entre 3,10 m et 4,55 m est soulignée par un changement de pente marqué de la surface de l'estran. La pente qui est de l'ordre de 0,2% sur la vasière augmente d'un ordre de grandeur, soit de 1,0% à 2,3% dans cette zone.

Le substrat est composé de silt et de sable accumulés en minces petits lits. L'épaisseur totale du dépôt est en relation directe avec l'altitude du sondage. En effet, sur les figures 3a et 3b, l'horizon caractéristique de sable, de graviers et de cailloux se poursuit sous le haut estran selon la même pente que sur la vasière. Ainsi, l'épaisseur du matériel silto-sablonneux entremêlé de rhizomes de spartine alterniflore varie entre 0 m et 1,5 m. Comme sur le bas estran, l'horizon de matériaux grossiers fixe la profondeur maximum de l'encaissement des petits tributaires qui recoupent le haut estran.

Cette zone est caractérisée par la dominance et l'omniprésence de la spartine alterniflore. Elle correspond à ce que Lavoie et Brind'Amour (1981) nomment les zones des "Hautes et denses" spartines. Un seul groupement végétal occupe donc cette zone, c'est le pré salé à spartine (Dansereau, 1959). Les pourcentages d'immersion correspondant aux limites altitudinales de cette zone (3,10 m à 4,55 m) sont de 53% à 18% respectivement (tableau 1). C'est dans cette zone que l'on rencontre de nombreuses petites dépressions de forme généralement arrondie appelées mareilles. Celles-ci ont un diamètre moyen variant de 0,50 m à 1,0 m et une profondeur moyenne de l'ordre de 0,20 m à 0,30 m. Les versants de ces mareilles sont bien tranchés et subverticaux. Les mareilles sont souvent reliées entre elles et occupent entre 20% et 40% de la superficie totale de la zone. Ces dépressions forment de petites trappes à débris et leur fond est souvent tapissé de coquillages morts qui viennent s'y échouer.

- Zone de spartine alterniflore et de spartine étalée

Située plus haut sur l'estran entre les altitudes 4,55 m et 5,10 m, où le pourcentage d'immersion est compris entre 6% et 2%, cette zone se caractérise surtout par une diminution importante de la pente moyenne (0,8%) et par une augmentation du nombre de taxons vasculaires. Les limites inférieures et supérieures de cette zone correspondent aux pleines mers de morte-eau moyenne (4,58 m) et pleines mers moyennes (5,10 m).

A la spartine alterniflore, s'associent la salicorne d'Europe (Salicornia europaea), la spartine étalée, de même que le plantain joncoïde (Plantago juncoides), la sperguiaire du Canada (Sperguiaria canadensis), l'arroche hastée (Atriplex hastata), le glaux maritime (Glaux maritima) et le troscart maritime (Trigiochin maritima).

Le groupement végétal le plus fréquent est le pré salé à spartine et salicorne (Blouin et Grandtner, 1971). On observe aussi le pré salé à spartine alterniflore, à spartine étalée et à plantain joncoïde (Lavoie et Brind'Amour, 1981) (figures 4a et 4b).

Dans cette zone, les dépressions, appelées mares, sont nettement plus grandes et plus allongées que les mareilles de la zone précédente. Leur grand axe, le plus souvent aligné parallèlement au rivage, mesure entre 2 m et 10 m de long et leur petit axe entre 1 m et 3 m. Leur profondeur moyenne est légèrement plus grande et elle varie entre 30 cm et 40 cm. Leur densité peut atteindre 40% de la surface.

De nombreuses algues et la ruppie maritime (Ruppia maritima) croissent dans ces mares. Lorsqu'il y a accumulation de sédiments fins dans la dépression, la spartine alterniflore et la salicorne d'Europe s'installent, tel qu'observé par Cantin (1974).

Tableau 1: Altitudes*, limites des zones phytobiologiques et pourcentages d'immersion (Estrans de la région de Kamouraska)

	Zone de spartine et fucus		Zone de spartine alterniflore		Zone de spartine alterniflore et de spartine étalée		Zone de spartine étalée		Herbaçaie salée	
Stations-témoins	Inférieure	Supérieure	Inférieure	Supérieure	Inférieure	Supérieure	Inférieure	Supérieure	Inférieure	Supérieure
1 Pointe-aux-Orignaux	absente		3,05	4,40		5,10	(plage)		absente	
2 Ruisseau-des Bras	absente		3,05	4,40		5,20		5,45		** ***
3 Motel Cap Blanc	2,70	2,90		4,65		5,00	(plage)		5,45	** ***
4 Anse Saint-Germain	absente		2,90	4,70		5,15		5,45		**
5 Motel Au Repos	2,40	3,55		4,55		5,10		5,45		6,10
6 Andréville	2,35	3,05		4,60		5,20		5,45		***
Moyenne: Altitude (m)	2,50	3,10		4,55		5,10		5,45		
% immersion	65%	53%		18%		6%		2%		

* Les altitudes sont en mètres par rapport au 0 des cartes marines.
** La présence d'un champ cultivé nous empêche d'établir cette limite.
*** La présence d'un abolteau nous empêche d'établir cette limite.

- Zone de la spartine étalée

Plus haut sur l'estran, s'étend la zone de spartine étalée dont les limites altitudinales vont de 5,1 m à 5,45 m et les pourcentages de submersions de 18% à 6% (tableau 1).

Les caractéristiques morpho-sédimentologiques de cette zone sont semblables à celles de la zone précédente, à savoir: une pente moyenne de 0,8%, un substrat silto-sablonneux et la présence de nombreuses mares. La limite inférieure de cette zone (5,1 m) marque la limite des pleines mers moyennes et délimite d'après Gauthier (1978) et Doran (1981) le marais intertidal (de 0 m à 5,1 m) du marécage intertidal (5,1 m à 6,0 m). De nombreux auteurs dont Jacquet, 1949, et Verger, 1968 et Doran, 1981 soulignent que cette limite est avant tout marquée par un abrupt très haut sur l'estran. Les relevés réalisés dans la région de Kamouraska concordent avec les résultats des travaux de Redfield (1972) et Gauthier (1978) et indiquent que cette limite est plutôt biogéographique que morphologique.

Toutefois, l'examen du profil de l'estran à la station-témoin #5 (figure 4b) révèle un changement de pente important entre les altitudes 4,5 m et 5,4 m. D'ailleurs, on observe sur la partie centrale de ce petit abrupt une zone de vase dénudée qui témoigne de l'action érosive des vagues à ce niveau. A toutes les autres stations-témoins, le passage du marais au marécage est souligné par une augmentation du nombre de taxons vasculaires. La spartine étalée est l'espèce dominante. Elle s'accompagne principalement du plantain joncoïde, de l'arroche hastée, du glaux maritime et du limonium de Nash (Limonium nashii). A ce niveau du marécage, les associations végétales sont la prairie à spartine étalée et le groupement à plantain (Blouin et Grandtner, 1971).

- L'herbaçaie salée

Au niveau de cette zone, les pourcentages de submersion diminuent grandement: ils vont de 6% à 2% (tableau 1). La limite altitudinale inférieure de la zone est 5,45 m. Nous n'avons pu établir la limite altitudinale supérieure réelle à cause de la présence des champs cultivés. Elle serait, d'après le niveau maximum des pleines mers de vive-eau, voisine de 6,0 m.

La pente moyenne de cette unité est très faible, de l'ordre de 0,2%. Cette pente, traduite en unité de longueur, équivaut à repousser de 50 m la limite supérieure de la zone inondée pour chaque augmentation de 0,10 m de la tranche d'eau. Comme les niveaux maximums peuvent varier de plus ou moins 0,30 m par rapport au niveau maximum moyen, lors des tempêtes ou en fonction des saisons, cela équivaut à une bande de terre d'environ 300 m de large.

Dans cette zone, la diversité floristique est la plus élevée. Cette zone, la moins inondée de toutes, est dominée par l'orge agréable (Hordeum jubatum) qui indique la limite inférieure de l'herbaçaie salée et par la fétuque rouge (Festuca rubra). Dans la partie inférieure, on observe le carex paléacé (Carex paleacea), la potentille de Egédée (Potentilla egedii), la verge d'or toujours verte (Solidago sempervirens), l'hiérochloé odorante (Hierochloe odorata), la scirpe maritime (Scirpus maritimus) et la puccinelle maigre (Puccinellia paupercula). La partie supérieure de la zone est surtout colonisée par le liseron des haies, l'agropyron rampant (Agropyron repens), la livèche écossaise, le jonc de la Baltique (Juncus balticus), le gaillet trifide (Galium trifidum), la gesse maritime (Lathyrus maritimus), la vesce jargeau (Vicia cracca), la spartine pectinée, l'élyme des sables et le rosier rugueux (Rosa rugosa).

Dans l'herbaçaie salée, la densité des mares décroît. Elles sont colonisées par la spartine étalée et la spartine alterniflore, et par la salicorne d'Europe à mesure qu'elles s'assèchent. Elles occupent environ 10% de la superficie et elles atteignent souvent une dizaine de mètres de longueur.

C'est dans l'herbaçaie salée que les associations végétales sont les plus diversifiées. On y a observé lors de l'examen de 6 transects: la prairie à spartine étalée, à orge agréable et à fétuque rouge (Lavoie et Brind'Amour, 1981), la prairie à spartine étalée et carex paléacé (Lavoie et Brind'Amour, 1981), la prairie à puccinellie, la prairie à agropyron et phléole (Phleum pratense), la prairie à fétuque rouge et carex, le groupement à potentille et la prairie à jonc (Blouin et Grandtner, 1971), la prairie à arroche hastée (Lavoie et Brind'Amour, 1981) et la prairie à élyme des sables (Dansereau, 1959) (figures 4a et 4b).

4.3 Evolution récente de la frange littorale

A la suite de cette description de la zonation du littoral, il est opportun d'analyser ces unités en coupe afin de comprendre leur évolution récente.

Le schéma de la stratigraphie d'un estran vaseux illustre une coupe-type le long d'un estran dans la région de Kamouraska (figure 5). La présence de nombreuses tranchées dans le marécage et de canaux de drainage dans le marais a rendu possible la description de plusieurs coupes stratigraphiques dans la baie de Kamouraska. Les données de l'analyse de 6 coupes principales localisées dans les diverses zones du littoral et celles des plus importants sondages réalisés le long de ce transect font l'objet d'une description schématique placée en annexe. Cette description réfère aux figures 6a et 6b.

L'examen des coupes reportées sur le profil stratigraphique d'un estran vaseux (figure 5) révèle que les unités sédimentologiques décrites forment des horizons continus sous la surface du marécage intertidal. L'horizon caractéristique de sable, de graviers et de cailloux se prolonge sous le marécage à une profondeur d'environ 2,0 m. La régularité de la profondeur de cet horizon repère est confirmée par de nombreux sondages à la tarière dans les marécages intertidaux de la région.

Au-dessus de cet horizon caractéristique, la séquence des matériaux et des groupements végétaux rencontrés confirme que ces unités furent mises en place dans des conditions de marée et de salinité comparables aux conditions actuelles. Ainsi, la même zonation observée présentement à la surface de l'estran est répétée dans les coupes, soit, depuis le bas vers le haut: une unité de spartine alterniflore, une unité de spartine alterniflore et de spartine étalée, une unité de spartine étalée et une unité de spartine pectinée. Le contact entre l'horizon de spartines alterniflores est net; il n'y aurait pas eu de sédimentation au niveau de la vasière durant la mise en place de cette séquence.

Les différentes unités stratigraphiques décrites forment des prismes qui se chevauchent vers le large, ce qui est caractéristique d'un estran en voie d'émersion. Cela peut survenir à la suite de la baisse du niveau marin moyen* ou à la suite d'une élévation de la surface de l'estran par le biais de la sédimentation. L'émersion de l'estran peut aussi être tributaire de la conjugaison de ces deux derniers facteurs.

---

* Ce niveau est fonction de la baisse du niveau moyen de la mer (eustatique) et de la hausse du niveau du continent (isostatique).

Pour préciser l'histoire géologique récente de la frange littorale, nous disposons, entre autres, de 4 datations au ^{14}C réalisées sur des échantillons de coquillages et de bois prélevés le long du profil étudié. Deux de ces datations proviennent des coquillages recueillis dans l'horizon de sable, de graviers et de cailloux, à proximité des coupes #3 et 6.

Le premier échantillon (coupe #3) se situait à 0,9 m au-dessus du niveau marin moyen actuel (3,1 m) et à 1,8 m sous la surface du marécage. Présentement, l'horizon-repère ne fait surface que sur le bas estran, lequel se situe toujours en-dessous du niveau marin moyen. Cela implique que depuis 1100 ± 115 ans B.P. (GX-8961), le niveau marin moyen se serait abaissé d'au moins 0,9 m, soit une baisse moyenne de ce niveau de l'ordre de 0,8 mm/an.

Le deuxième échantillon (GX-9104, 1775 ± 145 ans B.P.) fut prélevé à 1,6 m au-dessus du niveau marin moyen, ce qui suppose une baisse moyenne de ce niveau de 0,9 mm/an. Mentionnons que ces taux d'abaissement moyen de 0,8 m à 0,9 mm/an représentent des valeurs maximales car les coquillages auraient pu être enfouis dans le bas estran à une altitude inférieure à 3,1 m.

Par ailleurs, 1,8 m de matériaux caractéristiques d'une séquence d'estran recouvrait le niveau de prélèvement de l'échantillon. On en déduit que ces matériaux ont dû se mettre en place depuis au maximum 1100 ans ± 115 ans B.P. et que le taux de sédimentation moyen fut de l'ordre de 1,6 mm/an. Cette valeur est minimale car elle implique que la sédimentation de vase a débuté aussitôt que les coquillages furent enfouis dans l'horizon-repère. Elle représente aussi une valeur moyenne car elle intègre le taux de sédimentation généralement très faible dans le marécage et le taux plus élevé dans le marais.

Deux autres datations au radiocarbone permettent de préciser le taux de sédimentation sur l'estran. Les analyses ont porté sur un échantillon de coquillages de Mya arenaria, de Macoma balthica et de Mytilus edulis et sur un échantillon de bois enseveli dans l'unité de spartine alterniflore à 1,5 m sous la surface. Comme le site de ces prélèvements se trouve à la limite supérieure de l'herbaçaie salée près de la coupe #5, il illustre bien la séquence stratigraphique complète de la phase terminale de l'évolution de l'estran.

L'échantillon de bois donna un âge isotopique de 570 ± 70 ans B.P. et celui des coquillages de 780 ± 70 ans B.P. Si on intègre ces deux valeurs pour un âge moyen de 675 ans B.P., on obtient un taux de sédimentation légèrement supérieur au précédent (1,6 mm/an), soit 2,2 mm/an. Comme le taux précédent était une valeur minimale, la différence entre les deux ne semble pas significative. Contrairement au premier échantillon, ces derniers ne provenant pas de l'horizon-repère, ils n'ont pas pu servir à calculer la baisse du niveau marin moyen.

En résumé, l'évolution géologique de la frange littorale résulte d'une sédimentation à la surface de l'estran au rythme moyen de 1,6 mm/an à 2,2 mm/an et d'une baisse du niveau marin moyen de l'ordre de 0,8 mm/an à 0,9 mm/an. Ces deux actions se sont additionnées pour donner un taux d'émersion maximum de l'ordre de 3 mm/an pour la région.

Cette émersion des estrans s'est traduite par une diminution du pourcentage d'immersion de la partie supérieure du marécage intertidal. Les différentes espèces de spartine qui sont sensibles à ce phénomène ont réagi. Il en est résulté un abaissement altitudinal des différentes zones de végétation qui ont progressé vers le large. Le chevauchement des unités sur le profil stratigraphique confirme cette progression qui serait de 40 cm/an en moyenne pour l'ensemble du littoral étudié (voir chapitre 6).

Diverses hypothèses sont avancées pour expliquer cette progression. Selon Redfield (1972), la spartine alterniflore peut s'installer sur les zones dénudées: soit par la germination des grains, soit par la croissance latérale des rhizomes, soit par l'arrachement de radeaux de végétation par les glaces. Ainsi, le marais s'accroît grâce à l'installation d'îlots de végétation qui s'étendent pour devenir continus. Selon Cantin (1974), la spartine alterniflore s'avance lentement sur l'estran et y fixe les sédiments.

En ce qui regarde la texture des matériaux qui reposent sur l'horizon-repère de sable, de graviers et de cailloux, ce sont tous des silts avec une proportion plus ou moins importante d'argile et de sable fin. D'après les courbes granulométriques illustrées sur les figures 6a et 6b, la taille médiane des matériaux diminue vers le haut des coupes. Ce phénomène, qui a déjà été décrit par de nombreux auteurs, se transpose latéralement sur l'estran, les particules les plus fines étant déposées plus haut sur l'estran.

5. DYNAMIQUE LITTORALE

5.1 En conditions de glace

Cette section a trait à la compréhension des processus morphosédimentologiques liés aux glaces littorales. Les mécanismes décrits concernent les modalités de l'englacement et les divers facteurs responsables de l'action des glaces dans le façonnement du littoral, plus particulièrement lors du déglacement.

Afin de fournir les informations les plus précises possible, des mesures systématiques ont été effectuées à l'endroit des 6 stations-témoins décrites précédemment. Les 3 campagnes de terrain réalisées durant l'hiver 1981-1982 auront permis de déterminer les différentes phases de l'évolution de la glace de rive sur le littoral entre Rivière-Ouelle et Andréville.

Mais d'abord, voici un bref aperçu des conditions de glace sur la portion étudiée de l'estuaire.

5.1.1 Conditions générales du couvert de glace

La description des conditions de glace sur le moyen estuaire entre La Pocatière et Rivière-du-Loup se base sur une analyse des images satellites Landsat à l'échelle du 1:1 000 000. L'inventaire exhaustif de toutes les images Landsat I et II disponibles depuis 1972 révèle que seuls les hivers 1973-1974 et 1978-1979 sont représentés par un nombre suffisant de clichés sans couverture nuageuse, conditions requises pour analyser l'évolution des glaces flottantes dans cette région de l'estuaire. Les 10 clichés de ces deux saisons hivernales ont donc été retenus à l'appui de cette brève description des conditions de glace. Les documents utilisés sont des images infra-rouges (bande spectrale #7), la meilleure bande pour cartographier les glaces d'après la NASA (1977).

La ligne de rivage a été cartographiée d'après le trait de côte à marée haute, tel qu'identifié sur le cliché du 24 avril 1974, période libre de glace (figures 7a et 7b). Les clichés du 4 janvier 1974 et du 15 décembre 1978 font voir le début de l'englacement. On remarque qu'il se forme rapidement sur les estrans protégés de la rive sud une bordure de glace soudée au rivage. La plus grande concentration de glace se retrouve aussi en rive sud près des Îles Kamouraska et Les Pèlerins.

Pris au coeur de l'hiver, les clichés du 22 janvier et du 19 février 1974 et ceux du 20 janvier et du 7 février 1979 montrent une importante couverture de glace. La glace fixée à la rive forme une bande presque continue sur la rive sud. Celle-ci reliait les Îles de Kamouraska et Les Pèlerins au trait de côte, en 1974. Presque toute la moitié sud de l'estuaire est caractérisée par

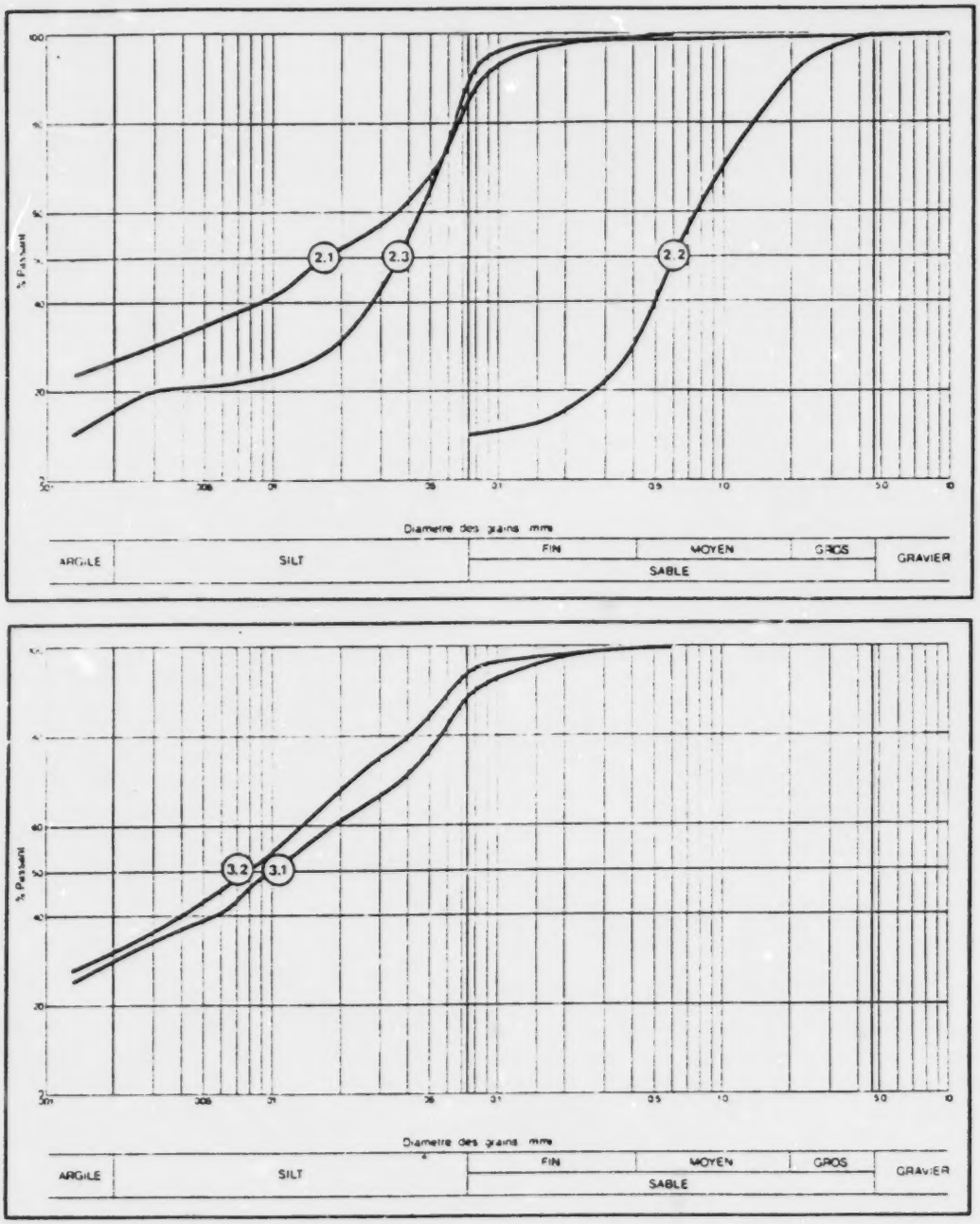


Figure 6a

BAIE DE KAMOURASKA : Granulométrie des matériaux de l'estran – Coupes 2 et 3.

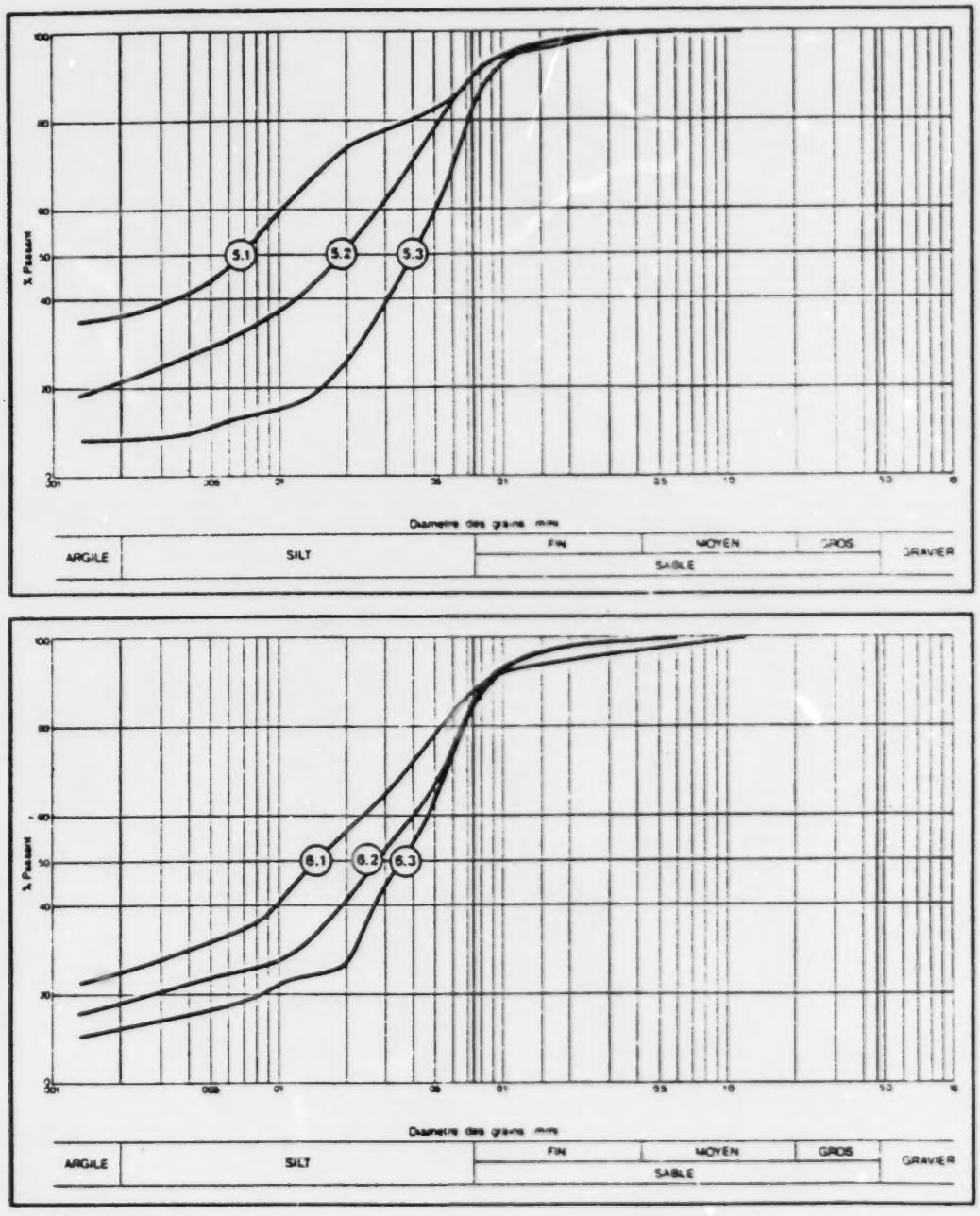


Figure 6b

BAIE DE KAMOURASKA : Granulométrie des matériaux de l'estran – Coupes 5 et 6.

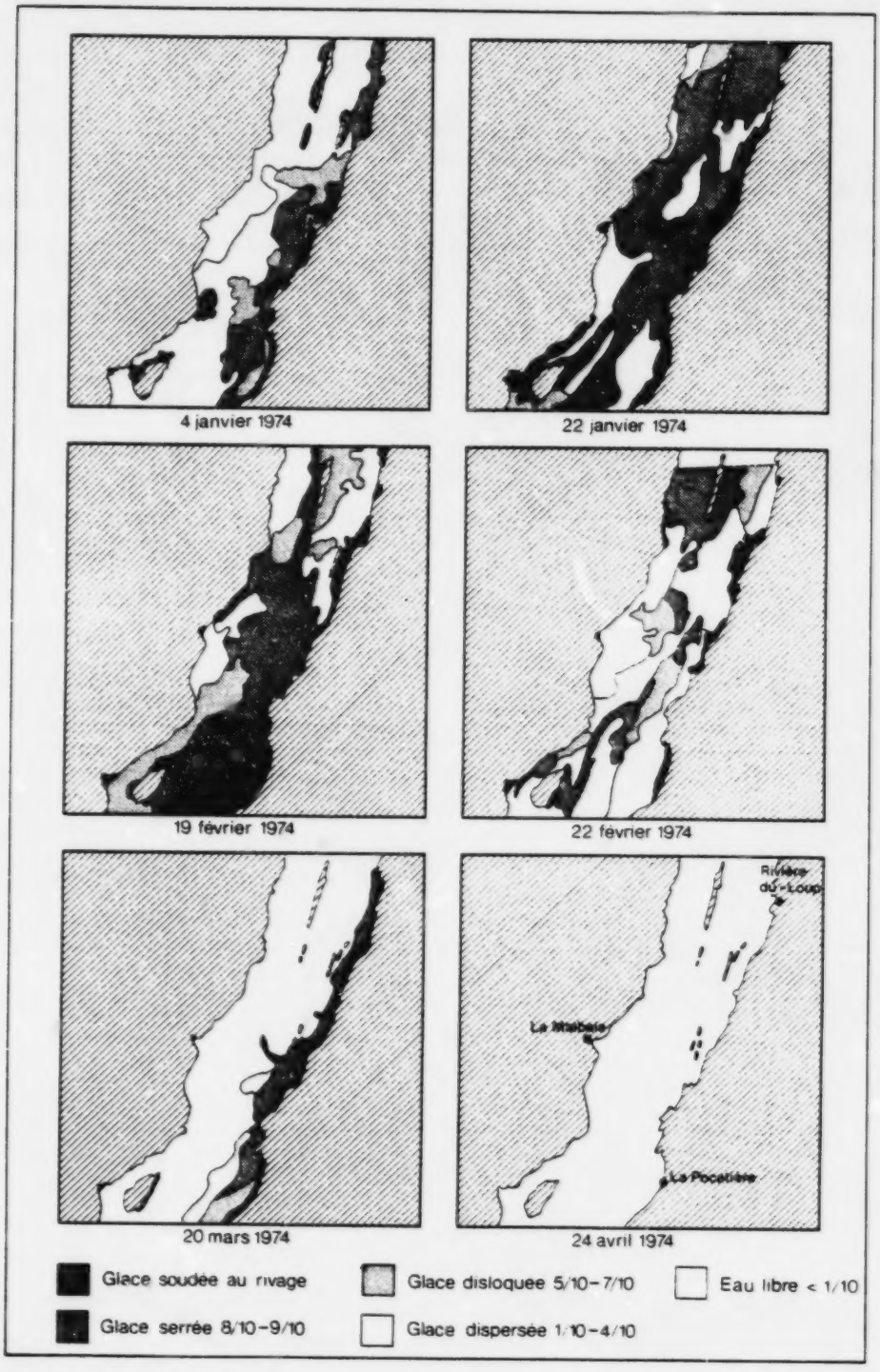


Figure 7a

Couverture de glace sur le moyen estuaire du Saint-Laurent entre La Pocatière et Rivière-du-Loup. (Hiver 1973-1974)

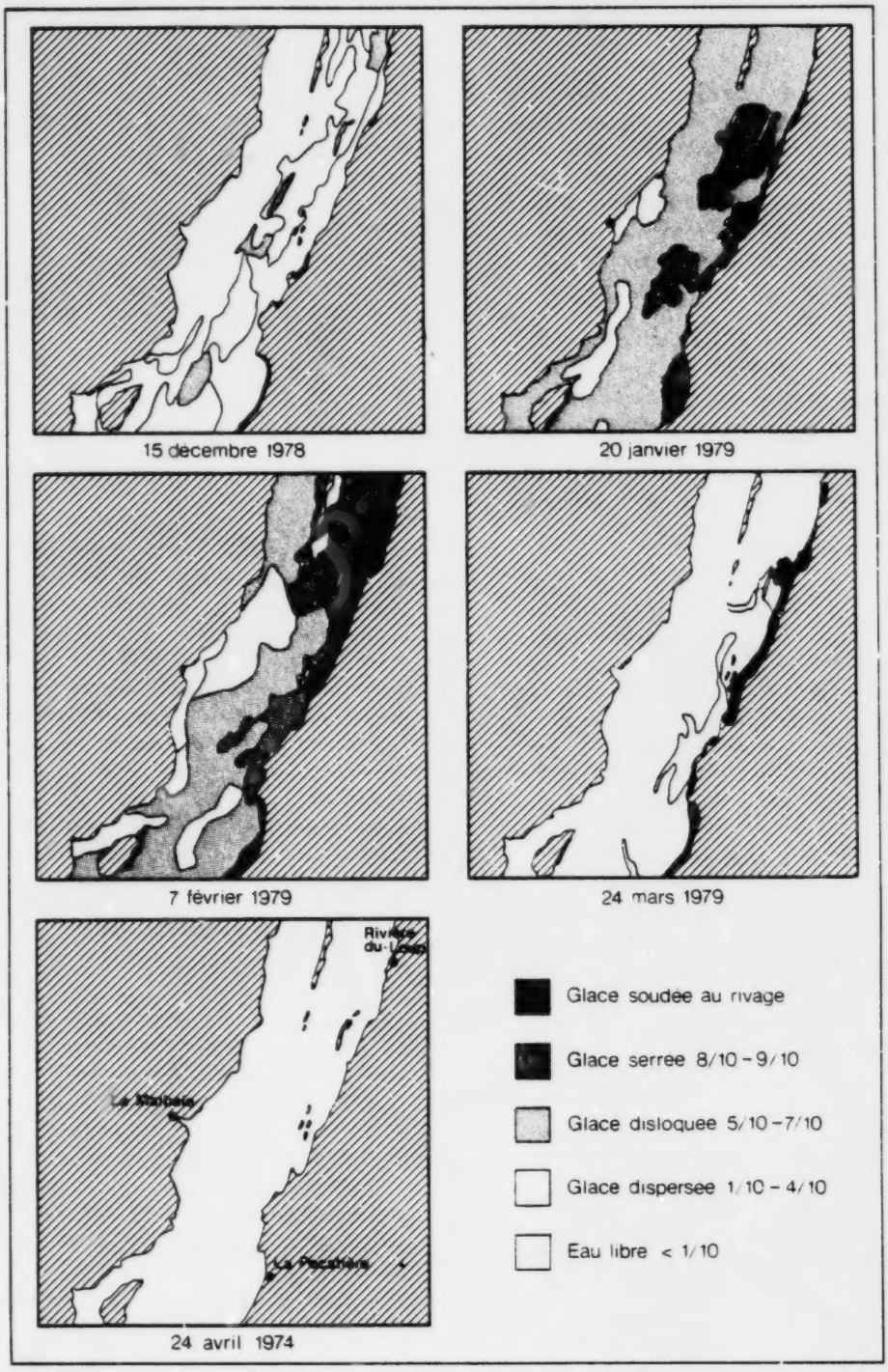


Figure 7b

Couverture de glace sur le moyen estuaire du Saint-Laurent entre La Pocatière et Rivière-du-Loup. (Hiver 1978-1979)

une couverture de glace serrée qui recouvre plus de 8/10 de la surface en eau. La concentration de glaces est moins importante en rive nord. Il ne faut pas oublier que l'analyse des conditions de glaces en rive nord est très difficile, le chenal nord étant patrouillé par des brise-glace durant cette période.

Sur le cliché du 22 février 1974, on observe déjà un début de déglacement alors que la superficie des glaces soudées au rivage a légèrement diminué. Celles-ci se limitent désormais à une mince bordure derrière les îles. La concentration de glace a diminué et il y a beaucoup de secteurs de glace dispersés et en eau libre.

Les clichés du 20 mars 1974 et du 24 mars 1979 illustrent un stade avancé de déglacement dans le moyen estuaire. Malgré la faible couverture de glace, on remarque que la superficie de la glace fixée à la rive est toujours importante, notamment à l'abri des îles.

5.1.2 Phases de l'évolution des glaces littorales

Les observations réalisées durant l'hiver 1981-1982 en face des 6 stations-témoins ont permis de comprendre les mécanismes régissant le comportement des glaces et de définir les principaux paramètres qui conditionnent la formation de la glace de rive. Toutes les données recueillies à cet effet sont compilées de façon schématique sur les profils des stations-témoins (figures 8a et 8b).

- L'englacement

Les basses températures du début de l'hiver provoquent l'engel, début de l'englacement. Cette phase s'amorce généralement par la formation de plaquettes de glaces qui s'accumulent sur le haut estran au niveau de la laisse de marée. En 1981, les premières températures sous zéro coïncidèrent avec les grandes marées (6,1 m) de la mi-novembre. Les mécanismes observés alors avaient cours à toutes les stations-témoins. Lors du jusant, l'eau dans les mares gèle et il y a formation d'une pellicule de glace mince d'environ 1 cm. Cette pellicule de glace est soulevée lors du flot et elle se fragmente en une multitude de plaquettes de glace dont le plus grand axe varie entre 2 cm et 20 cm. Lorsque cette pellicule de glace enveloppe les tiges de spartines, son soulèvement par la marée contribue au fauchage progressif de la végétation à l'automne.

Les plaquettes de glace sont généralement formées de glace pure entremêlée de quelques fragments organiques. Quelquefois, elles sont chargées de particules fines. Simultanément à leur création, les plaquettes de glace sont repoussées sur le haut estran et elles s'amoncellent de façon dynamique, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'un agent de transport comme les courants ou les vagues, au niveau de la laisse de marée. Elles forment alors une mince lisière de glace cohérente le long de la côte. Nous réservons le terme de "pied de glace" à cette lisière de glace soudée au rivage et formée par l'accumulation dynamique de plaquettes de glace amalgamées.

Le pied de glace formé à la mi-novembre se situait sur le haut estran au niveau du marécage et du marais supérieur et sa largeur variait entre 3 m et 5 m lorsqu'il se retrouvait sur une plage et entre 10 m et 20 m sur un estran en pente douce. Sur les sections littorales rocheuses, le déferlement des vagues avait projeté des embruns qui formèrent, en gelant, une carapace de glace de quelques centimètres d'épaisseur.

En 1981, une période de redoux suivit l'engel et elle fit fondre sur place cet embryon de pied de glace. L'englacement proprement dit ne débuta que tardivement, à la fin décembre. Les processus décrits précédemment se répétèrent avec, en plus, la formation

de boules de glace. En effet, l'invasion du flot sur un estran recouvert de neige forme une bouillie de glace appelée "slush". En eau turbulente, les vagues transforment cette bouillie en boules de glace de diamètre variant entre 10 cm et 30 cm. Ces boules de glace s'assemblent entre elles passivement et forment des radeaux de boules. La taille de ceux-ci est généralement d'échelle métrique et cela limite leur distribution sur l'estran à cause de leur tirant d'eau. Ainsi, il est exceptionnel de les observer au-dessus de l'élévation 4,5 m.

Ces radeaux de boules se transforment progressivement, car à chaque submersion il y a formation d'une mince pellicule de glace qui contribue à leur croissance. Lorsque les cellules initiales qui formaient le radeau ne sont plus facilement identifiables et que les boules et les plaquettes de glace s'entremêlent, on dit que le radeau est composite.

Au-dessus de cette limite de 4,5 m, s'étend le domaine du pied de glace proprement dit. Il est formé d'une succession de pellicules ou strates de glace issues de la congélation d'une fine nappe d'eau laissée après chaque inondation par la marée. Entre les pellicules successives de glace, s'intercalent des couches de neige plus ou moins épaisses.

Au début de l'englacement, on note une concentration plus ou moins importante de radeaux composites sur le bas estran. Ces derniers ne sont pas soudés entre eux et ils dérivent au gré des courants. A ce moment, les morceaux de glace à la dérive peuvent affouillier la surface du bas estran, y laissant des cicatrices telles des rainures.

Lors de tempêtes, il est possible de voir de nombreux radeaux être repoussés vers la limite inférieure du pied de glace. Un tel événement lors de l'englacement a formé un empilement de blocs de glace qui atteignait 1,5 m de haut dans la zone de spartine alterniflore, à la station #3.

Quelques semaines après le début de l'englacement, l'agglomération des radeaux sur le bas estran forme une couverture de glace continue plus ou moins cohérente. Ce marnage bi-quotidien entrave cependant la fixation des glaçons entre eux, laquelle dépend des conditions climatiques et hydrodynamiques du site étudié. Ainsi, dans une région où le marnage est important, il peut s'écouler environ un mois entre le début de l'englacement et la formation d'une plate-forme de glace cohérente. Dans un site protégé contre l'action des vagues comme le fond de la baie de Kamouraska, les radeaux de glace sont peu mobiles et ils s'unissent rapidement entre eux par la congélation de l'eau qui s'infiltre entre eux. Cette place-forme glacielle s'appelle glace d'estran. Elle forme avec le pied de glace une bande qui adhère au littoral et qu'on appelle glace de rive. Cette dernière s'étend jusqu'aux glaces flottantes qui dérivent sur l'estuaire.

- Le piéni-glaciel

Le piéni-glaciel se définit comme la période où la couverture de glace, tant sur le littoral que sur la nappe d'eau, atteint son plus grand développement (Dionne, 1972). L'apparition de congères bien constituées sur la glace d'estran annonce le piéni-glaciel. En effet, pour que les congères s'allongent et persistent, il faut que la surface de la glace d'estran ait atteint une certaine stabilité, voire une certaine cohérence. Cette maturité n'est pas toujours synchrone sur tout le littoral, car en milieu plus turbulent, la cohésion de la glace d'estran peut être retardée.

L'ennelgement de la surface contribue à atténuer les différences morphologiques entre le pied de glace et la glace d'estran. Naturellement, le pied de glace ne peut plus évoluer dynamiquement et sa croissance verticale se limite aux apports de neige. Quant à la glace d'estran, son évolution est confinée à sa bordure extérieure appelée frontières de glace (Dionne, 1972). On y observe de la

glace de dérive accolée à sa bordure. Par temps calme, des glaçons se fixent à la glace d'estran et favorisent sa croissance, tandis que par grands vents, ils se dégagent et repartent à la dérive. Le bilan global demeure à peu près nul. Il semble que la limite de la frontière de glace se situe approximativement à l'altitude de 2,0 m dans la zone de vasière.

L'oscillation des marées exerce des pressions continuelles sur la glace d'estran et la force à se réajuster. Exceptionnellement, lors des grandes marées, ces contraintes se répercutent sur la partie inférieure du pied de glace, mais en général, la marée ne fait qu'inonder la surface de ce dernier. Sur la glace d'estran, il se développe des fissures parallèles entre elles et au rivage. Ces figures sont plus nombreuses aux abords de la frontière de glace.

Les estrans étudiés constituent des secteurs relativement protégés et nous n'y avons pas observé de crêtes et de pressions ou crevasses importantes. A la station #5, seulement, la présence de gros blocs glaciels sur la surface de l'estran a permis le développement de contraintes suffisantes pour créer des monticules de glace appelés pustules (Dionne, 1972).

La campagne de terrain réalisée au début de mars était représentative de la phase terminale de l'évolution de la glace de rive. On retrouvait deux types de pied de glace sur le territoire à l'étude (tableau 2).

Le premier type de pied de glace se rencontrait aux stations #1, 3 et 5, lesquelles sont caractérisées par un haut estran en pente forte. Dans ces cas, la largeur moyenne du pied de glace était de 60 m. Aux stations #2, 4 et 6, le pied de glace était beaucoup plus étendu car il recouvrait tout le marécage dont la pente est très faible. Sa largeur moyenne était de 220 m et les limites altitudinales du pied de glace se situaient entre 4,5 m et 6,0 m. L'épaisseur du pied de glace ne dépassait pas 10 cm à 30 cm. Entre les niveaux 4,5 m et 5,4 m, l'épaisseur du pied de glace passait de 0,3 m dans sa partie supérieure à 0,8 m dans sa partie inférieure, la moyenne étant de 0,5 m.

L'extension maximale de la glace d'estran atteignait 170 m à la station #5, 250 m à la station #6 et 500 m à la station #1. Aux autres stations, elle dépassait 1 km. Aux trois sites où nous avons pu mesurer la limite de la frontière de glace, elle se situait à une altitude moyenne de 2,1 m. Dans tous les cas, l'épaisseur moyenne de la glace d'estran variait peu et la moyenne était de 0,9 m.

- Répartition du gel sous la glace de rive

Le processus de prise en charge à la base des glaces est le processus le plus fréquent. En effet, une couche de matériaux d'épaisseur variable peut se souder à la surface inférieure de la glace et être arrachée lors du soulèvement des glaces. Afin d'évaluer la possibilité réelle de ce processus érosif, deux campagnes de mesures ont permis de compiler des données sur le régime thermique du sol sous la glace. Les graphiques de ces profils sont consignés sur les profils de la glace de rive aux 6 stations témoins (figures 8a et 8b).

Avant d'analyser les profils thermiques du sol sous la glace, rappelons que la salinité de l'eau interstitielle dans le sol abaisse le point de congélation de ce dernier sous 0°C. D'après les mesures de Gauthier (1978) à l'Île Verte, la salinité de l'eau interstitielle dans les matériaux de l'estran serait de l'ordre de $5^0/_{00}$ à $10^0/_{00}$. De tels taux de salinité abaissent le point de congélation de l'eau entre -0,5°C et -0,7°C. Les sondages à la tarière effectués sous la glace confirment que la consistance du sol dont la température se situe entre 0,0°C et -0,5°C est plastique et que celle du sol dont la température est

Tableau 2: Sommaire des caractéristiques de la glace de rive aux stations-témoins.

Station-témoin	Pied de glace					Glace d'estran						
	Largeur (m)	Epaisseur moyenne (m)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Profondeur moyenne du sol gelé (m)	Largeur (m)	Epaisseur moyenne (m)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Profondeur moyenne du sol gelé (m)	Altitude minimale du sol gelé (m)	Altitude maximale du déglacement dynamique (m)
2 Ruisseau-des-Bras	200	0,4	6,0	4,5	0,3	1000	0,8	4,5	--	0,35	3,4	4,4
5 Anse Saint-Germain	190	0,4	6,0	4,6	0,4	1000	0,8	4,6	--	--	3,6	4,5
6 Andréville	270	0,3	6,0	4,7	0,7	250	0,8	4,7	2,0	--	--	4,6
Moyenne (2, 5, 6)	220	0,37	6,0	4,6	0,47	variable	0,8	4,6	2,0	0,35	3,5	4,5
1 Pointe-aux-Orignaux	80	0,8	6,1	4,3	0,3	500	0,9	4,3	1,4	0,25	3,5	4,0
3 Motel Cap Blanc	60	0,6	6,0	4,3	0,7	170	1,0	4,3	2,3	0,4	3,0	4,2
5 Motel au Repos	50	0,6	5,9	4,5	0,6	1000	1,0	4,5	2,0	--	3,5	4,0
Moyenne (1, 3, 5)	63	0,63	6,0	4,4	0,53	variable	1,0	4,4	1,9	0,33	3,3	4,2
Moyenne (stations 1 à 6)	141	0,5	6,0	4,5	0,50	variable	0,9	4,5	1,95	0,34	3,4	4,35

se situe entre 0,0°C et -0,5°C est plastique et que celle du sol dont la température est inférieure à -0,7°C est rigide. On observe sur de nombreux profils thermiques (figures 8a et 8b) un point d'inflexion entre -0,5°C et -0,7°C. Nous avons retenu -0,7°C comme température minimale pour évaluer l'épaisseur de la couche de matériaux qui est soudée sous la glace de rive. Celle-ci est évaluée à ±5 cm près.

Onze sondages furent réalisés lors de la première campagne de mesures en janvier 1982. La profondeur du sol gelé était peu importante et variait entre 0 cm et 10 cm. Il n'y avait pas de différence significative entre les profils réalisés sous le pied de glace et ceux d'estran. Nous n'avons pas pu effectuer de sondages sous la glace d'estran aux stations #5 et 6 car ces dernières furent visitées à marée haute alors que la plate-forme de glace était soulevée.

Une deuxième série de 15 profils thermiques fut réalisée au début du mois de mars. Théoriquement, ceux-ci nous indiquent l'épaisseur maximale de la couche de matériaux fixée sous la glace car ce moment coïncide avec la fin de la période pléni-glacielle. Ces sondages révèlent que la profondeur du sol gelé est variable et qu'elle dépend entre autres du type de matériau. Dans les sols silto-sablonneux, la profondeur du gel mesurée est sensiblement la même à toutes les stations et elle varie entre 20 cm et 35 cm. Lorsque le matériau est sablonneux et perméable comme sur le haut estran des stations #3, 5 et 6, la profondeur du gel varie entre 55 cm et 85 cm.

Les sondages indiquent aussi que tous les matériaux situés sous le pied de glace sont gelés tandis que seuls les matériaux situés sous la partie supérieure de la glace d'estran le sont. La plus importante observation effectuée durant ce séjour fut à l'effet qu'entre les altitudes de 3,4 m et 4,5 m, la couche de matériaux qui adhère à la glace est discontinue à marée basse et quasi inexistante à marée haute lorsque la plate-forme de glace est soulevée. On n'a pas pu réaliser de sondages thermiques dans cette zone à marée haute à cause de l'infiltration de l'eau dans les trous de tarière. Par contre, le matériau prélevé dans ces trous était parsemé de cristaux de glace. Comme cette zone du marais est très accidentée, il est probable que les buttes en saillie aient tendance à se souder plus rapidement à la glace que les points creux.

Cette répartition des matériaux pris sous la glace va déterminer entre autres, le rôle des glaces comme agent d'érosion et de transport. Il est d'ores et déjà certain d'après ces relevés que l'arrachement de plaques de matériaux dans le marais peut se produire lors du soulèvement de la glace d'estran par la marée durant tout l'hiver. Rappelons qu'auparavant, ce processus de prise en charge par les glaces était uniquement attribué au soulèvement des glaces lors du déglacement.

- Le déglacement

Les modalités du déglacement des côtes du territoire à l'étude ont été intimement liées à leur exposition. Ainsi, malgré le caractère similaire de leurs conditions hydrographiques, marégraphiques et climatiques, divers sites littoraux pourtant voisins ont connu un rythme de déglacement fort différent. Ainsi, dès la fin du mois de mars 1982, les sections correspondant aux plates-formes rocheuses de Pointe-aux-Orignaux et de Cap-au-Diable étaient déglacées tandis que dans les baies protégées comme celle de Kamouraska, le déglacement n'était pas complété à la mi-avril.

Le déglacement a débuté lorsque les glaces littorales ont été soumises à la casse par le soulèvement massif des glaces durant les grandes marées de la fin du mois de mars. A ce moment, il se développe un réseau serré de fissures et de crevasses qui couvre toute la glace d'estran et quelquefois la partie

inférieure du pied de glace. Dès lors, de nombreux radeaux de glace peuvent se détacher et être entraînés vers l'estuaire. Cela est d'autant plus rapide que le site est exposé aux vents dominants et qu'il existe des conditions d'eau libre qui permettent aux glaces d'être emportées. Dans les portions littorales situées derrière les îles Kamouraska et Les Pèlerins, la présence d'un pont de glace retarde ce processus de quelques semaines.

Les modalités du déglacement en 1982 furent représentatives d'un tel événement, si l'on se fie au résumé de Dionne (1979) sur la question:

> "...le déglacement des côtes du Saint-Laurent débuta en général, à la fin mars ou au début d'avril et coïncide avec les grandes marées. Les secteurs les plus exposés sont les premiers attaqués et débarrassés de leurs glaces. Les rentrants profonds, à pente faible et bien protégés ne sont par contre déglacés qu'à la mi-avril, lors des grandes marées de vive-eau. A plusieurs endroits, en particulier dans la partie supérieure des schorres et dans certains sites bien abrités, les glaces fondent sur place."

Les relevés effectués à la mi-avril 1982 à l'emplacement des 6 stations indiquent que le profil morphologique de l'estran joue un rôle déterminant sur les mécanismes du déglacement. En effet, le démantèlement de la glace d'estran, qui s'étire jusqu'à l'altitude 4,5 m, est un événement dynamique caractérisé par le départ progressif des blocs de glace. Par contre, le pied de glace, qui s'étend de l'altitude 4,5 m à 6,0 m, se comporte différemment car il se dégrade sur place sous l'influence du soleil. Au-dessus de 5,5 m, la fonte du pied de glace qui a moins de 30 cm d'épaisseur est très rapide.

Comme le pied de glace fond sur place, seul le départ de la glace d'estran risque de jouer un rôle morpho-sédimentologique important. Lorsque les radeaux sont entraînés par les courants, ils peuvent affouiller la surface du bas estran et laisser des cicatrices telles des cuvettes et des monticules. Ces marques sont d'autant plus nombreuses que la surface de la vasière est molle comme c'est le cas à la station #2. Lorsque les matériaux sont plus grossiers et compacts comme aux autres stations, ces bouleversements sont peu importants.

La prise en charge de plaques de matériaux soudées sous la glace représente le plus important processus de prise en charge par les glaces. A la lueur de données inédites sur la répartition du gel des matériaux présentées dans la section précédente, on peut conclure que les matériaux situés entre les altitudes 3,3 m et 4,5 m sont les plus susceptibles d'être soulevés et transportés par les glaces littorales.

L'arrachement des matériaux peut se produire durant toute la période hivernale, mais le transport de ces derniers se fait surtout lors du départ des glaces. Il est difficile d'évaluer le lieu de sédimentation de ces plaques de matériaux, car le déplacement des glaces est aléatoire. A ce jour, toutes les études concernant ce problème traitaient uniquement du déplacement des blocs erratiques à la surface de l'estran (Brochu, 1961, Hamelin et Letarte, 1966, Allard et Champagne, 1980). Ces recherches ont démontré la très grande variabilité des déplacements subis par les blocs. Par ailleurs, de nombreux auteurs ont signalé la présence de matériaux allochtones d'origine glacielle dans le lit de l'estuaire (d'Anglejan et Brisebois, 1973, Loring et Nota, 1973). Ces études confirment tout de même que les glaces littorales peuvent transporter des matériaux sur une assez grande distance.

Le volume annuel de matériaux érodés par les glaces représente un autre paramètre difficile à cerner. La profondeur des marelles, dépressions laissées par l'arrachement de plaques de végétation, est proportionnelle à l'épaisseur de la couche de matériaux soudée sous la glace, laquelle varie entre 20 cm et 35 cm. Les données recueillies en 1981-1982 ne nous permettent cependant pas d'évaluer la superficie de l'estran qui est érodée par les glaces. En effet, même si l'on peut cerner les zones où les matériaux sont les plus susceptibles d'être soulevés et transportés par les glaces, la répartition discontinue du sol gelé sous celle-ci nous empêche d'évaluer la superficie sollicitée. Pour ce faire, il faudrait plutôt suivre l'évolution de la superficie occupée par les marelles dans cette zone à l'aide de photographies aériennes asynchrones à très grande échelle (1:2 500) qui ne sont présentement pas disponibles.

Naturellement, il est possible que le processus de prise en charge de matériaux sous la glace déborde la zone située entre les altitudes 3,4 m et 4,5 m. Par exemple, à une altitude inférieure à 3,4 m, une pellicule de boue peut adhérer à la glace lorsque celle-ci repose sur le fond à marée basse. Ou encore, à une altitude supérieure à 4,5 m sur le haut estran, il peut y avoir un soulèvement partiel du pied de glace lors de conditions marégraphiques et climatiques exceptionnelles. Ces phénomènes demeurent toutefois marginaux.

On rappellera au lecteur que de nombreux auteurs (Dionne, 1972, Gauthier, 1977, Hamelin et Letarte, 1966) avaient déjà signalé le rôle des glaces littorales dans l'arrachement des plaques de matériaux sur l'estran. Cette étude-ci constitue la première qui tente de circonscrire les mécanismes et les limites spatiales entre lesquels s'exerce ce type de processus.

Les glaces littorales peuvent aussi transporter des matériaux de taille variée autrement que par la prise en charge de plaques de matériaux soudées sous la glace. D'une part, les travaux de Brochu (1961), Hamelin et Letarte (1966), Dionne (1966) et Allard et Champagne (1980) ont démontré que les glaces peuvent déplacer des blocs d'échelle métrique à la surface de l'estran. Entre la Pointe de la Rivière Ouelle et Andréville, ce phénomène est presque exclusivement réservé aux pointes rocheuses et au bas estran de la station #5.

D'autre part, de nombreux auteurs (Dionne, 1966, d'Anglejan, 1981, Loring et Nota, 1973) ont décrit la prise en charge de particules fines par les glaces dans lesquelles elles ont été emprisonnées lors de la congélation d'eaux chargées en matières en suspension. Ce processus serait très important sur les estrans situés de part et d'autre de la zone de turbidité maximale de l'estuaire. Il demeure toutefois peu important sur les littoraux visités. En effet, d'après des mesures effectuées sur le pied de glace en décrépitude à la mi-avril, l'épaisseur de la pellicule de boue résiduelle provenant de la fonte de la glace représentait moins de 1% de l'épaisseur totale de celle-ci.

De toute cette étude des glaces, il ressort qu'une relation étroite s'établit entre le profil topographique de l'estran et l'activité morphologique des glaces sur ce dernier. Il existe une zone charnière entre les altitudes 3,4 m et 4,5 m où le départ des glaces joue un rôle érosif important en prenant en charge des matériaux soudés aux radeaux de glace. Or, cette zone coïncide avec la première rupture de pente sur le bas estran. Il s'agit d'une zone où la surface colonisée par la spartine alterniflore est découpée de nombreuses marelles.

Par contre, il semble d'après les relevés de terrain que le rôle morpho-sédimentologique des glaces demeure très limité de part et d'autre de cette zone et qu'il se limite à de petites retouches de la surface de l'estran. Comme la base de l'aboiteau se situe à une altitude d'environ 5,6 m, la

section du pied de glace qui le touche fond sur place et ne sollicite pas ses assises.

5.2 En conditions d'eau libre

Les repères sédimentologiques installés à l'automne 1981 au droit des 6 stations-témoins ont fait l'objet d'une revue systématique à 4 reprises en conditions d'eau libre, soit: à la mi-avril, à la mi-juin, à la mi-juillet et à la mi-octobre 1982.

5.2.1 Interprétation des données de sédimentation

Les données recueillies sur le terrain sont consignées dans la figure 9. Les mesures de l'accumulation de matériaux sur les plaques montrent que l'épaisseur du placage de vase varie entre 0 cm et 7,1 cm. Les valeurs maximales enregistrées ont presque toutes été mesurées à la mi-avril. Par la suite, on observe une diminution générale des valeurs tout au long de l'été. La sédimentation est plus importante dans la partie supérieure de la vasière située au-dessus de l'altitude 2,0 m.

Durant la période sans glaces, la valeur moyenne de l'accumulation des sédiments sur toutes les plaques de la station 1 est passée de 3,6 cm à 0,7 cm, sur celles de la station 2 de 2,1 cm à 0,8 cm, sur celles de la station 3 de 1,5 cm à 0,3 cm, sur celles de la station 4 de 2,4 cm à 0,4 cm, sur celles de la station 5 de 0,7 cm à 0,4 cm, enfin sur celles de la station 6 de 2,2 cm à 1,8 cm. Si on considère la moyenne générale, il semble que cette diminution soit progressive à en juger par les deux campagnes intermédiaires d'été (Figure 9).

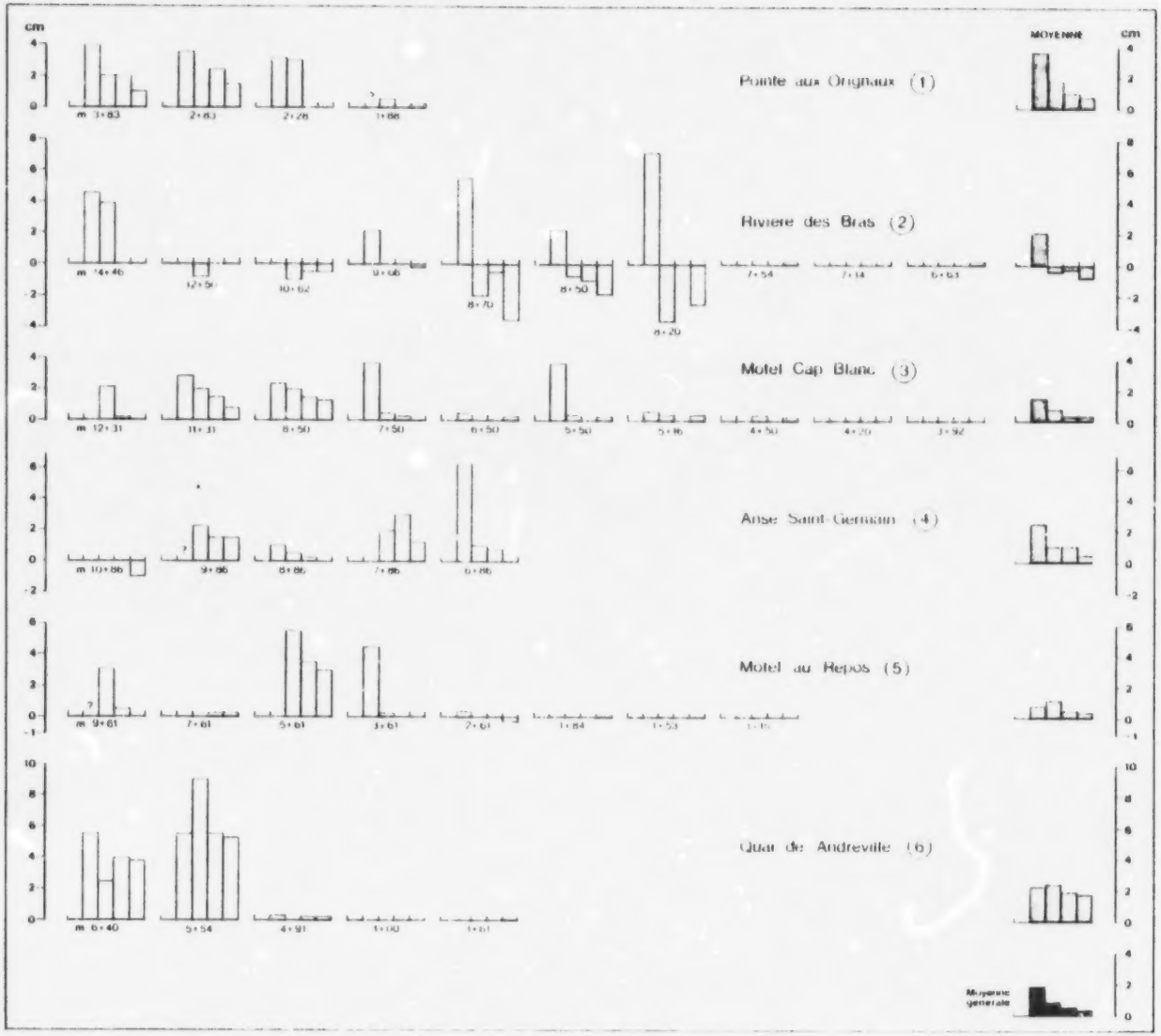
A la mi-avril, il n'y avait eu aucune sédimentation sur les plaques situées au-dessus de l'altitude de 3,4 m. Rappelons qu'au-dessus de cette élévation, la glace de rive est soudée au sol. Cela ne permet donc pas à l'eau chargée de particules de pénétrer en-dessous (figures 8a et 8b).

Seulement quelques plaques montrent une augmentation de l'épaisseur des matériaux accumulés durant la période estivale, et encore là, il s'agit probablement d'un simple remaniement des matériaux accumulés à proximité de la plaque. La plupart des plaques avaient été placées sur un horizon caractéristique constitué de sable, de graviers et de cailloux "gravel lag". Seules les plaques situées au chaînage 8+20, 8+50, 8+70, 9+66 et 10+66*[1] de la station-témoin 2 avaient été placées à la surface d'un placage de vase molle en 1981. Cette pellicule vaseuse de 0,1 cm à 10 cm surmontait l'horizon-repère. Or ce sont précisément ces plaques qui indiquent des valeurs négatives en 1982. Il est probable que le cycle d'érosion des matériaux n'avait pas été complété en 1981 et que malgré les apports de vase à cet endroit durant l'hiver 1982, le placage résiduel laissé en 1981 ait été partiellement érodé.

Par ailleurs, à partir d'un examen général des plaques, il appert que l'érosion des matériaux accumulés se fait lors du jusant. En effet, les cicatrices d'érosion sont situées sur le côté amont des plaques. C'est sûrement durant cette période que les particules sont évacuées car on ne les retrouve généralement pas ailleurs sur le bas estran.

Pour connaître le volume total de matériaux déposés sur les estrans entre Rivière-Ouelle et Andréville, on a multiplié la superficie de la zone supérieure de la vasière où l'on a observé de la sédimentation ($1{,}1 \times 10^{6} m^{2}$) par l'épaisseur moyenne de la couche de vase déposée pendant l'hiver 1981-1982 ($1{,}9 \times 10^{-2} m$). Le résultat obtenu est de $2{,}0 \times 10^{5} m^{3}$ ou $5{,}4 \times 10^{5} Tm$ (poids sec). La majorité de ces matériaux serait remise en suspension durant la période estivale, soit environ $4{,}6 \times 10^{5} Tm$ en 1982.

*[1] Mesure géodésique où la distance totale à partir du point de référence est exprimée en mètres. Ex.: 8+20 = 820 m.



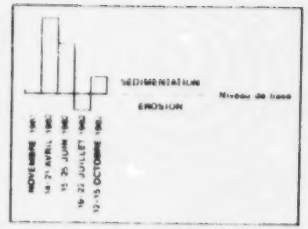


Figure 9

Mesures sédimentologiques saisonnières (1981-1982) aux stations-témoins.

5.2.2 Analyse des séries granulométriques

L'analyse des séries granulométriques nous renseigne sur la capacité de transport des agents littoraux. En effet, il existe une relation étroite entre la taille des matériaux déposés et l'intensité du mécanisme responsable de sa mise en place. Plus le matériau est grossier, plus cette force devra être grande. La capacité de transport des agents littoraux varie en fonction de la vitesse d'écoulement dans le cas des courants et en fonction de la force d'arrachement hydrostatique dans le cas des glaces.

Les matériaux prélevés à l'endroit des plaques de sédimentation ont une taille médiane qui va des silts (0,007 mm) aux sables moyens (0,58 mm) (tableaux 3a et 3b). La taille médiane moyenne des particules est de 0,17 mm (sable fin). D'après la moyenne des tailles médianes calculée pour chacune des stations, seuls les matériaux échantillonnés aux station 2 et 6 seraient légèrement plus fins (moyenne inférieure à 0,05 mm).

On constate, par ailleurs, en se référant aux mêmes tableaux, que la taille des particules est variable pour chacune des stations échantillonnées. Cette variabilité de la granulométrie s'explique par les pourcentages d'argiles qui varient de 0% à 33% et ceux des silts de 3% à 78%.

Nous avons réalisé pour chacune des stations un test de corrélation entre la distance de la plaque au rivage et la taille médiane des matériaux prélevés. Les corrélations sont très bonnes pour les stations 1, 2, 4 et 5, variant entre 0,93 et 0,99. A la station 3, il n'y a pas de corrélation apparente (R=0,031) et à la station 6, le test n'est pas significatif car il porte sur deux seuls échantillons.

Il existe une diminution de la taille des particules du bas estran vers le haut estran. Ce granoclassement des matériaux se traduit par une nette diminution de la fraction sableuse, le sédiment devenant beaucoup plus siliteux sur le haut estran. Ce type de séquence granoclassée est caractéristique des sédiments mis en place par les courants de marée sur les estrans où le rôle des vagues est relativement peu important (Postma, 1968).

Ce tri des matériaux concorde aussi avec nos observations qui tendent à démontrer que la sédimentation se produit au cours de l'hiver sous la plate-forme de glace. Le mécanisme en cause serait le suivant: la vitesse du flot chargé en particules s'amortit progressivement par friction sur l'estran et sur la glace et dépose en premier les plus grosses particules sur le bas de l'estran, tandis que les particules plus fines sont transportées plus loin sur le haut de l'estran.

Certains échantillons contiennent une proportion non négligeable d'éléments de la taille des graviers. Ce type de vase graveleuse se retrouve en général sur les plaques situées sur le bas de l'estran et il faut faire intervenir un transport par les glaces pour expliquer la présence des graviers. Les échantillons prélevés à la station 3 recèlent une proportion importante de graviers à toutes les plaques. Il est probable que les matériaux qui furent échantillonnés près des plaques où il n'y avait presque pas eu de dépôt correspondent beaucoup plus à un mélange du placage récent avec l'horizon sablo-graveleux sous-jacent.

5.2.3 Bilan critique

Les mesures de l'épaisseur des matériaux déposés sur les plaques étaient maximales à la mi-avril et leur épaisseur moyenne était de 1,9 cm. Lors de notre dernière campagne de mesure à la mi-octobre, il y avait encore un mince placage de vase par endroits, son épaisseur moyenne étant de 0,3 cm pour l'ensemble des plaques.

Tableau 3a: Granulométrie des échantillons de vase prélevés près des repères sédimentologiques.

Station-témoin No:		No échantillon	Chaînage	Diamètre (mm) médiane	Argile %	Silt %	Sable %	Gravier %
Pointe-aux-Orignaux	1	82-04-16-2	3+83,50	0,219	4	21	68	7
		82-04-16-1	2+83,50	0,076	3	46	43	8
		82-04-16-3	2+83,50	0,028	13	68	17	2
	Moyenne			0,108	7	45	43	6
Coefficient de corrélation R=0,994								
Rivière-des-Bras	2	82-04-21-1	14+46,00	0,108	4	30	65	2
		82-11-14-4	10+62,00	0,050	9	62	29	-
		82-04-21-3	8+70,00	0,024	17	78	5	-
		82-04-21-4	8+50,00	0,013	22	75	3	-
		82-04-21-5	8+20,00	0,044	14	74	12	-
	Moyenne			0,048	13	64	23	-
Coefficient de corrélation R=0,936								
Motel Cap Blanc	3	82-07-19-1	12+31,30	0,218	9	15	70	6
		82-07-19-2	11+31,30	0,079	31	18	37	14
		82-07-19-3	8+50,30	0,433	3	15	61	21
		82-04-19-4	7+50,30	0,253	7	21	59	13
		82-07-19-5	6+50,30	0,260	7	23	52	8
		82-07-19-6	5+50,30	0,098	14	31	36	19
		82-07-19-7	5+16,30	0,150	9	24	49	18
	Moyenne			0,213	11	21	53	14
Coefficient de corrélation R=0,031								

Tableau 3b: Granulométrie des échantillons de vase prélevés près des repères sédimentologiques.

Station-témoin No:		No échantillon	Chaînage	Diamètre (mm) médiane	Argile %	Silt %	Sable %	Gravier %
Anse Saint-Germain	4	82-07-22-1	11+86,00	0,264	4	11	73	12
		82-07-22-3	9+86,00	0,174	5	16	72	7
		82-07-22-4	7+86,00	0,064	16	40	43	1
		82-07-17-1	6+86,00	0,007	33	63	4	-
	Moyenne			0,127	15	33	48	5
Coefficient de corrélation R=0,999								
Motel au Repos	5	82-07-20-3	9+61,00	0,580	9	6	54	31
		82-07-20-4	7+61,00	0,530	-	5	72	23
		82-07-20-5	5+61,00	0,434	-	6	51	43
		82-07-20-6	3+61,00	0,262	9	19	62	10
		82-07-20-7	1+84,00	0,087	5	36	53	6
	Moyenne			0,379	8	14	58	23
Coefficient de corrélation R=0,972								
Quai de Andréville	6	82-07-20-1	6+40,00	0,059	10	50	37	3
		82-07-20-2	5+54,00	0,015	20	76	4	-
	Moyenne			0,037	15	63	21	-
Coefficient de corrélation R=(nombre d'échantillons insuffisants)								
Moyenne générale				0,174	12	36	44	13

Il faut tout de suite mettre en garde le lecteur qui serait tenté d'utiliser cette valeur comme la résultante annuelle de la sédimentation sur le territoire étudié. En effet, les mois d'octobre et de novembre constituent les deux mois les plus venteux de la période d'eau libre. Les vents de composante ouest ont une fréquence de près de 50% et leur vélocité horaire maximale est la plus grande (22 km/h) (figure 2). Il est probable que la remise en suspension lors de ces deux mois est considérable et qu'une campagne de mesures réalisée à la fin novembre aurait indiqué une valeur moyenne inférieure à 0,3 cm. Les travaux de Troude, Sérodes et Elouard (1981) à Cap Tourmente ont démontré qu'à cet endroit, le cycle d'érosion est important durant ces deux mois. Rappelons que cette étude fait ressortir l'impact du broutage des Scirpes par les oies comme étant le facteur déterminant dans la remise en suspension de la vase accumulée.

Il faut aussi analyser ce résultat à la lumière des informations concernant l'évolution géologique récente de la côte qui met en relief la continuité d'un horizon de sable et de graviers dont l'uniformité traduit une certaine stabilité de la surface de la vasière.

Enfin, il faut se souvenir que le suivi ne tient compte que d'une seule année de mesures et qu'il est difficile d'établir un bilan à partir d'une telle série de mesures.

6. ETABLISSEMENT DE MODELES

L'analyse des données présentées dans les chapitres précédents a servi à l'élaboration d'un modèle des mécanismes qui régissent l'évolution de chacun des grands types de littoraux observés sur le territoire à l'étude. Ce modèle devrait permettre d'évaluer les répercussions environnementales de l'implantation de digues ou de tout autre aménagement comparable sur les estrans de la rive sud du moyen estuaire entre Rivière-Ouelle et Andréville.

6.1 Données de base

Avant de présenter les modèles comme tels, nous allons préciser les principales données de base qui ont servi à leur élaboration:

- la frange littorale est sous-tendue par une assise argileuse sculptée dans les argiles de la mer de Goldthwait. Cette terrasse s'incline vers la mer entre les altitudes 11 m et 0 m selon une pente moyenne de 0,2%;

- le découpage de la côte est assuré par une série de crêtes rocheuses de type appalachien qui sont alignées SO-NE;

- le bas estran est très homogène et se confond avec un mince horizon de sable, graviers et cailloux (horizon-repère) qui recouvre les argiles de la mer de Goldthwait;

- la zonation du haut estran est avant tout guidée par le marnage du plan d'eau et par la pente de sa surface. Ces deux facteurs déterminent le gradient d'inondation, le principal facteur dont dépend la distribution des plantes sur le littoral;

- l'accumulation de matériaux sur le haut estran est représentée par une séquence stratigraphique typique qui recouvre l'horizon-repère sur une épaisseur de 2 m;

- la datation au radiocarbone indiquent que l'évolution récente de la côte est caractérisée par un taux d'émersion de l'ordre de 3 mm/an. Cette valeur provient de la conjugaison d'une baisse relative du niveau marin moyen d'environ 0,8 mm/an à 0,9 mm/an et d'une accumulation de sédiments sur le haut estran de l'ordre de 1,6 mm/an à 2,2 mm/an;

- l'examen de photographies aériennes asynchrones (1961-1980) révèle que la limite inférieure du haut estran qui est soulignée par la zone de spartine alterniflore a progressé vers le large à un rythme de 0,75 m/an dans la baie de Kamouraska, de 0,70 m/an dans l'anse de Saint-Denis, de 0,45 m/an en face de Saint-Germain et de 0,30 m/an près du quai d'Andréville. Par contre, dans l'anse voisine de la Pointe Iroquois qui est exposée à l'action des vents dominants, on a mesuré un recul moyen annuel de l'ordre de 0,50 m au cours de la même période.

- le rôle morpho-sédimentologique des glaces est complexe. D'une part, les glaces protègent les rives contre l'érosion par les vagues l'hiver et assurent aux courants de marée des conditions de turbulence limitée propices à l'accumulation de vase sous elles. D'autre part, elles jouent un rôle érosif actif entre les altitudes 3,4 m et 4,5 m en soulevant des plaques de végétation soudées à la glace sur une épaisseur de 20 cm à 30 cm;

- la dynamique sédimentaire est caractérisée par une accumulation de vase sur le bas estran durant l'hiver et par la remise en suspension de la plus grande partie de ce dépôt l'été. En 1981-1982, l'accumulation de vase sur les repères sédimentologiques est passée d'une valeur moyenne maximum de 1,9 cm après l'hiver à 0,3 cm à la mi-octobre suivant.

6.2 Les modèles

Les grandes lignes des modèles sont avant tout tirées des données concernant l'évolution de la géologie historique de la frange littorale (section 4.2.3). Les données concernant la dynamique littorale (section 5) ont surtout servi à préciser certains aspects difficiles à analyser dans les coupes et à confirmer la continuité de la dynamique récente avec la période actuelle.

La compréhension de l'évolution des estrans de la région réclame qu'on distingue les rives à faciès rocheux de celles à faciès vaseux. Dans un cas comme dans l'autre, le bas estran se confond avec l'horizon-repère qui épouse la pente de 0,2% du substrat formé d'argile de la mer de Goldthwait (figure 10). L'altitude du niveau marin coïncide avec le point de partage entre les deux types de rives présentés.

L'estran rocheux peut être considéré comme un éperon qui transperce l'horizon-repère et les argiles de la mer de Goldthwait, deux unités héritées d'un contexte géologique différent du contexte actuel. Lorsque l'affleurement rocheux apparaît à une altitude inférieure ou égale à la limite moyenne du niveau de la mer, les vagues balaient la surface de la roche en place avec une telle intensité qu'aucune sédimentation ne peut avoir lieu, mise à part l'accumulation de petites plaquettes de schistes gélifractées à l'endroit des plages. Lorsque les affleurements rocheux transpercant l'horizon-repère à une altitude supérieure à ce niveau, ils sont partiellement ou totalement enfouis sous une couche de matériaux correspondant à une séquence stratigraphique typique d'un estran vaseux.

L'évolution d'un estran de type vaseux est plus complexe, mais elle est toujours régie par la pente de l'horizon-repère. Toutes les séquences stratigraphiques typiques d'un estran vaseux forment au-dessus de cet horizon une unité de 2 m de profondeur qui s'étend du niveau marin moyen actuel jusqu'à la base de la terrasse Mic Mac (figure 10). Cette continuité de la séquence confirme que l'émersion de l'estran s'est poursuivie à un rythme continu depuis quelques millénaires.

La sédimentation sur l'estran se fait presque exclusivement au niveau inférieur de la zone de spartine alterniflore entre les altitudes 2,5 m et 3,4 m. Le processus en jeu est le suivant: la glace d'estran assure aux courants de marées chargés en particules un

milieu très calme favorable à la décantation d'une mince pellicule de vase sous la glace. La sédimentation moyenne sur l'estran serait de l'ordre de 2 mm/an et elle se conjuguerait à une baisse relative du niveau moyen de la mer de 0,8 mm/an pour permettre l'émersion de l'estran à un rythme de 3 mm/an. Compte tenu de la pente moyenne de l'estran, l'émersion de ce dernier entraîne une progression de la zone de spartine alterniflore sur la vasière à un rythme moyen de l'ordre de 40 cm/an.

La partie supérieure de la zone de spartine alterniflore située entre les altitudes 3,4 m et 4,5 m correspond à la zone la plus sollicitée par les glaces. L'hiver, les glaces se soudent au sol sur une profondeur variant de 20 cm à 30 cm et arrachent, notamment lors du déglacement, des plaques de végétation qui sont délestées au hasard sur le bas estran et au large. Les cicatrices laissées par ces arrachements sont appelées mareilles.

Au-dessus de l'altitude de 4,5 m, apparaissent des mares, dépressions plus grandes et plus profondes que les précédentes. Leur origine est complexe. La figure 11 apporte cependant un élément de réponse aux nombreuses théories qui traitent de leur mode de formation. Cette coupe réalisée transversalement à la mare indique que la dépression initiale a son origine plus bas sur l'estran dans la zone de spartine alterniflore où les glaces sont principalement responsables des dépressions. Par la suite, la dépression est comblée de vase inorganique à haute teneur en sel, ce qui indique que l'eau dans la dépression originale se transforme progressivement en saumure, limitant ainsi la croissance végétale. Par contre, l'évolution de la séquence stratigraphique se poursuit normalement de part et d'autre de la mare.

Les paramètres décrits font état du rôle des courants de marée et des glaces et négligent le rôle des vagues. Il ne faut pas oublier que les vagues contribuent à remettre en suspension, durant l'été, la plus grande partie des particules déposées sur le bas estran durant l'hiver. Les vagues sollicitent aussi certaines zones de l'estran, notamment la zone de spartine alterniflore entre les altitudes 3,1 m et 4,5 m où la pente est plus élevée.

Dans la plupart des cas, la pente très faible de l'estran sert à amortir progressivement les vagues, ce qui dissipe presque complètement leur énergie. Il existe des cas d'exception où la rive est orientée vers le SO face aux vents dominants. Dans ces cas particuliers, les vagues de tempêtes peuvent saper la partie supérieure du marécage intertidal à un niveau correspondant à celui des plages, c'est-à-dire entre 5,1 m et 6,1 m.

La compréhension des divers mécanismes qui régissent l'équilibre dynamique de la zone intertidale en conditions naturelles a permis de réaliser une grille d'analyse qui présente les processus régissant l'évolution de l'estran en fonction d'un profil altitudinal type. Cette grille devrait permettre de projeter les répercussions environnementales reliées aux aménagements sur la frange intertidale et de distinguer les zones de l'estran qui sont les plus sensibles.

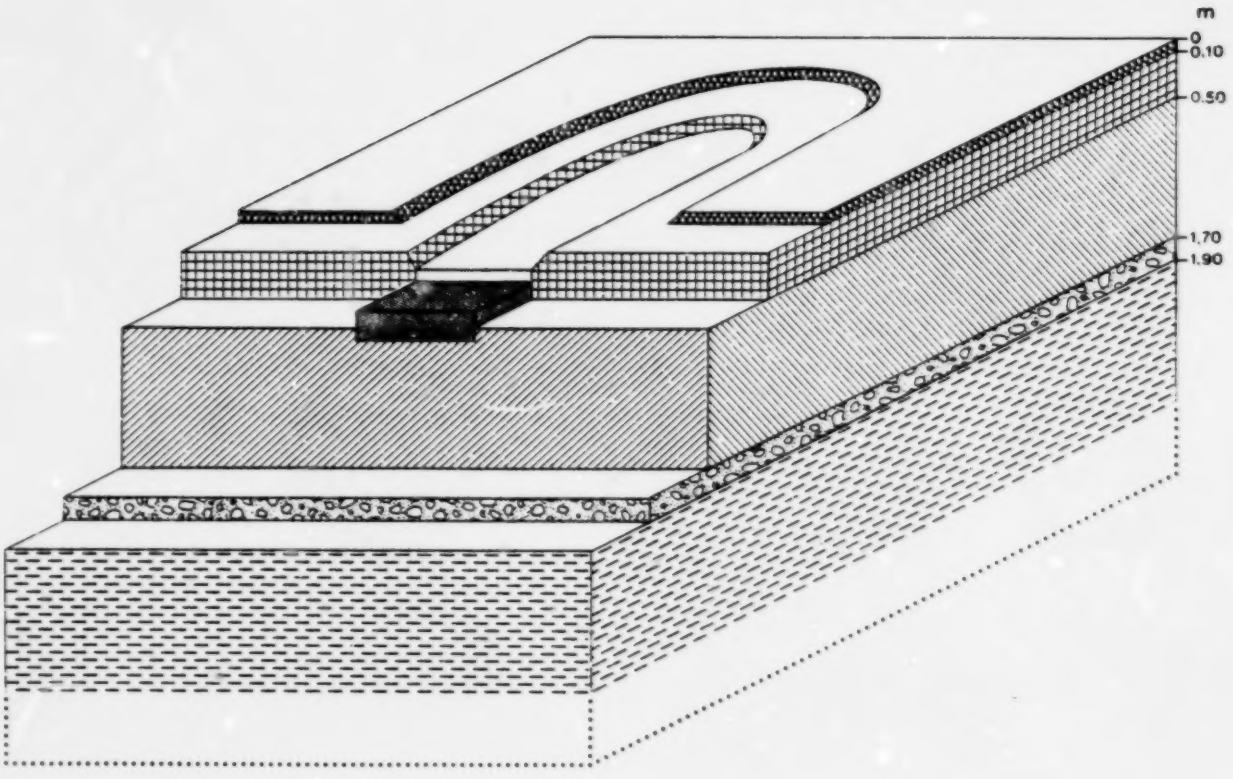
6.3 Schéma d'analyse

Les principaux résultats de l'étude ont été regroupés dans un schéma d'analyse de la dynamique littorale (figure 12), modèle qui servira à préciser les impacts éventuels de l'implantation d'ouvrages sur la frange littorale étudiée. Le modèle d'analyse proposé a été conçu en prenant comme niveau de référence le zéro des cartes marines, seul critère qui permet de localiser sur l'estran le lieu d'activité des agents morphologiques et de mesurer leur importance relative.

Ce modèle d'analyse illustre à titre de référence le profil type d'un estran qui se localiserait dans la baie de Kamouraska. A

Figure 11

BAIE DE KAMOURASKA : Coupe schématique d'une mare.



Silt argileux avec rhizomes de Spartine etalee

Pellicule organique, Salicorne d'Europe

Vase et cristaux de sel

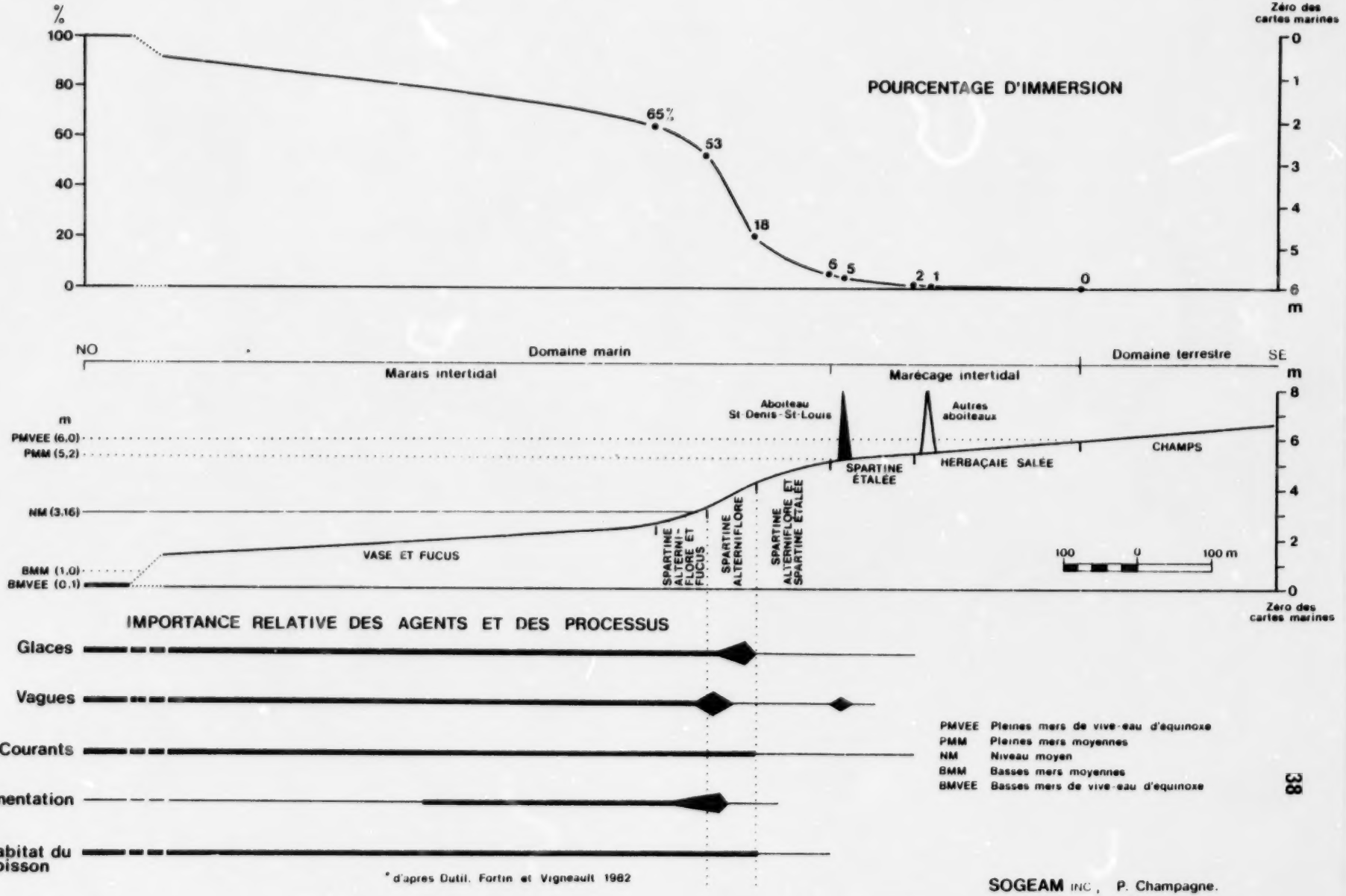
Silt argileux avec rhizomes de Spartine etalee et Spartine alterniflore

Silt avec un peu de sable, lits de sable, gravier et coquillages, rhizomes de Spartine alterniflore

Horizon de sable, graviers et cailloux

Argile de la mer de Goldthwait

Figure 12. **Modèle d'analyse de la dynamique littorale sur un estran vaseux (Kamouraska).**



* d'après Dutil, Fortin et Vigneault 1982

SOGEAM INC., P. Champagne.

cet endroit, le zéro des cartes marines se situe à 2,93 m en-dessous du zéro géodésique. Quant aux cotes de niveaux des diverses marées et le pourcentage d'immersion utilisé, ils sont basés sur la distribution de la fréquence des niveaux d'eaux prédits à Pointe-aux-Orignaux pour la période s'étendant de 1963 à 1982. Afin de connaître avec précision les cotes d'altitudes qui correspondent aux différents paramètres utilisés, le lecteur devra se référer aux données présentées aux tableaux 1 et 2 dans les différents chapitres correspondants.

En examinant ce schéma-type, on constate que l'aboiteau construit dans la baie de Kamouraska en 1980-1981 assèche toute la superficie de l'estran qui était submergée 5% du temps en conditions naturelles, soit la plus grande partie du marécage intertidal. Par contre, cet ouvrage perturbe très peu l'activité des différents agents morphologiques et les processus littoraux étudiés, sauf bien entendu, celle des vagues. En effet, celles-ci ne pouvant plus dissiper progressivement leur énergie, sapent la base de la digue lors des pleines mers de vives eaux.

Le schéma met en évidence une zone sensible, très active, comprise entre les altitudes 3,1 m et 4,5 m. C'est là que se concentre l'activité de tous les agents naturels. Il s'agit de la zone de spartine alterniflore.

Dans cette zone-charnière, les glaces, au moment de leur départ, jouent un rôle érosif important en prenant en charge des matériaux soudés aux radeaux glaciels. Les mareilles qui en résultent forment un habitat aquatique très fréquenté.

Par ailleurs, sous les glaces, à la limite inférieure de la zone de spartine alterniflore et fucus, une sédimentation s'effectue. En effet, il est resté sur les repères sédimentologiques, après un cycle annuel (1981-1982) une épaisseur de 0,3 cm de vase silteuse. Cette valeur est voisine du taux de sédimentation moyen de 0,2 cm évalué par datation au ^{14}C sur une échelle de temps millénaire. D'ailleurs, l'examen de photographies aériennes (1960-1980) prises à marée basse révèle que la zone de spartine alterniflore a progressé aux dépens de la vasière au rythme annuel de l'ordre de 0,75 m dans la baie de Kamouraska et de 0,40 m dans l'ensemble de la région.

Les apports sédimentaires auraient totalisé environ 540 000 Tm (poids sec) en 1981-1982. Ces apports proviennent exclusivement du large car ils sont mis en place sous la glace alors que le haut estran est gelé sous le pied de glace immobile. Durant la période d'eau libre, la plus grande partie de ces particules est remise en suspension par les vagues. Celles-ci sollicitent aussi certaines zones de l'estran, notamment la zone de spartine alterniflore entre les altitudes 3,1 m et 4,5 m où la pente est plus élevée.

Les courants de marée servent surtout à évacuer vers le large les matériaux fins remis en suspension par les vagues. Durant la période estivale de 1982, plus de 460 000 Tm de vase accumulée durant l'hiver fut retournée dans l'estuaire. Les courants ne semblent pas favoriser les échanges entre le haut et le bas estran. Preuve en est que l'on retrouve très peu de matière organique provenant du marécage dans les matériaux de surface du bas estran (le pourcentage de matière organique en poids, déterminé par combustion à 550°C de vase prélevée sur le bas estran, indique un pourcentage inférieur à 0,5%).

Ce modèle d'analyse doit être utilisé avec discernement. En effet, la conjugaison de paramètres dynamiques (amplitude de la marée, vitesse des courants, fetch des vagues), physico-chimiques (turbidité, salinité), morpho-sédimentologiques (pente, nature des matériaux) et phytobiologiques (groupements végétaux) fait en sorte qu'il est difficile de généraliser l'application de ce schéma à l'extérieur des limites du territoire à l'étude.

7. IMPACTS DES AMENAGEMENTS SUR LE LITTORAL

Le modèle d'analyse sert à préciser les impacts liés à l'implantation d'ouvrages sur la frange littorale. Les principaux ouvrages décrits concernent les digues permanentes construites sur le haut estran et les pêches à anguilles posées temporairement sur le bas estran durant la période estivale.

7.1 Les aboiteaux

Les aboiteaux de la région de Kamouraska ont été construits à une altitude hydrographique variant de 5,6 m à 5,7 m. Toutefois, dans la baie de Kamouraska, cette altitude est biaisée par le fait que l'accumulation de matériaux provenant de l'érosion de l'ancien aboiteau a rehaussé localement la surface de l'estran. Ainsi, si on prolonge le profil régulier de cette section de l'estran, on réalise que l'aboiteau de St-Denis - St-Louis (Kamouraska) recoupe ce plan à l'altitude 5,2 m.

Compte tenu de l'altitude de base moyenne des aboiteaux (5,6 m) et de l'altitude de l'aboiteau de St-Denis -St-Louis, on réalise que ceux-ci concourent à:

a) L'évolution naturelle de la zone sensible située entre 3,1 m et 4,5 m, laquelle correspond à la zone de spartine alterniflore où Dutil et Fortin (à paraître) ont recensé 12 taxons dans le cadre d'un inventaire de la communauté de poissons.

b) La formation des mareilles qui sont façonnées par les faces entre les altitudes 3,4 m et 4,5 m. Tout au plus, l'aboiteau concourt à assécher les mares qui sont situées derrière lui dans l'herbaçaie salée. Or, rappelons que ces mares n'étaient submergées que lors des grandes marées de vives eaux et, qu'en période de mortes-eaux, ces mares s'asséchaient naturellement pendant l'été.

c) La stabilité de la vasière qui par son horizon de sable, de graviers et de cailloux "gravel lag" forme avec ses fucacées un habitat de prélidection pour les Polychètes et les Crustacés.

d) Les échanges de matières organiques qui se résument à ceux qui interviennent entre l'estuaire et le bas estran.

e) Les échanges de matières organiques entre le haut et le bas estran qui sont très réduits même en l'absence d'aboiteaux.

Par ailleurs, les canaux de drainage qui recoupent le marécage et le marais intertidaux sont généralement creusés jusqu'au niveau de l'horizon caractéristique de sable, de graviers et de cailloux. Cela assure une stabilité du profil en long de ces canaux. A leur débouché sur le bas estran, les eaux drainées par ces canaux s'étalent en nappe sur la surface de la vasière.

7.2 Les pêches à anguilles

L'automne, les pêcheurs de la région de Kamouraska tendent des "pêches" sur la batture vaseuse pendant la migration catadrome de l'anguille. L'engin de pêche consiste en un leader qui peut atteindre 1 000 m muni d'ailes conduisant à des coffres où les anguilles sont récoltées. Les pêcheurs utilisent des tracteurs pour se déplacer sur l'estran. Le plus souvent, ils construisent de petits chemins de gravier pour circuler sur le marécage intertidal, tandis qu'ils se déplacent directement sur la surface du marais.

Le passage répété des tracteurs dans la zone sensible de spartine alterniflore, composante du marais, laboure la surface et

accélère la dégradation de ce milieu de part et d'autre des pêches. A l'examen des cartes 2a et 2 b, on peut noter une série de secteurs dénudés qui correspondent à des endroits où l'on s'adonne à une telle pratique. Les bourrelets des surfaces labourées offrent ainsi prise à l'action des vagues qui les détruise. Les matériaux ainsi érodés sont transportés et accumulés en partie sous forme de petites plages dans la portion supérieure des secteurs dénudés. On remarque le même type de phénomène, quoique de façon moins accusée, à l'endroit des pêches à esturgeons.

On doit ajouter que la vasière, principale zone d'intérêt pour le déploiement de ces techniques de pêche, résiste très bien à cette érosion grâce à son horizon peu sensible de sable, de graviers et de cailloux. La vasière n'est donc pas sollicitée.

Les pêcheurs tendent aussi leurs engins de pêche sur des estrans de type rocheux, dans lesquels cas il n'y a pas d'impact sur le littoral.

8. CONCLUSION

Les chapitres 6 et 7 qui traitent respectivement de modèle d'analyse et d'impacts peuvent déjà être considérés comme une synthèse et une conclusion de ce rapport. On peut néanmoins dégager ici 4 facettes originales de cette étude:

1- Cette étude de la dynamique littorale s'est poursuivie durant un cycle annuel complet, même durant la période hivernale, sous le couvert de glace.

2- Toutes les mesures de localisation des paramètres étudiés, aussi variés qu'ils étaient, ont été réalisées par rapport à un système de référence unique, soit le zéro des cartes marines.

3- Les résultats de l'étude de la dynamique littorale actuelle ont été confrontés à ceux de la dynamique littorale passée, lesquels furent tirés de l'analyse (géochronologique) de coupes géologiques millénaires et de l'interprétation de photographies aériennes prises à différentes périodes depuis 20 ans.

4- Toutes les informations recueillies lors de cette étude ont servi à produire un modèle d'analyse de la dynamique littorale unique, conçu en prenant comme niveau de référence le zéro des cartes marines.

Le modèle d'analyse (figure 12) s'avère un outil de travail intéressant pour toute personne, groupement ou autorité préoccupés par la protection ou l'aménagement des battures de Kamouraska.

Finalement, on peut exprimer certaines recommandations à savoir:

- Il serait intéressant de poursuivre le travail amorcé en 1981-1982 en répétant le suivi des repères sédimentologiques en 1983. Cela permettrait de préciser les variations saisonnières des échanges de matériaux entre l'estuaire et les battures de Kamouraska;

- Il serait souhaitable de jumeler à ces mesures sédimentologiques une étude de la géochimie des matériaux transités. Cela permettrait de connaître les transformations de ces sédiments lors de leur séjour temporaire sur la vasière;

- Il serait aussi recommandable de préciser les mesures correctives à entreprendre pour limiter les impacts des pêches à anguilles sur les zones de spartine alterniflore sensibles.

EQUIPE DE TRAVAIL

Ont participé aux diverses phases de cette étude, Paul Champagne, chargé de l'étude et Robert Denis, tous deux géomorphologues ainsi que Constance Lebel, biologiste. Ces 3 personnes ont été assistées sur le terrain par Albertus Parenteau, technicien et Charles Denis, étudiant. Léon Hardy, géomorphologue a aussi collaboré tant aux études préliminaires qu'aux travaux de terrain. Daniel Roy et Josée Savaria ont effectué le travail de cartographie et Ginette Houle, celui de la dactylographie.

A toute cette équipe des Consultants Sogeam Inc., se sont jointes des personnes de l'extérieur pour réaliser une partie ou l'autre de l'étude. Ainsi, Marie-Andrée Doran, biologiste, a apporté son concours dans la définition de la méthodologie propre à sa spécialité. Louis Verret, géographe à l'emploi de Pêches et Océans, Canada, a effectué des recherches bibliographiques et critiqué le rapport préliminaire. J. Nasr, de la Direction générale de l'information marine, du même ministère, a fourni plusieurs données précieuses en hydrographie. Les Laboratoire Ville-Marie Inc. ont fait l'analyse granulométrique des échantillions de sols alors que le Centre de recherches minérales du ministère de l'Energie et des Ressources du Québec et les Laboratoires Geochron de la compagnie Krueger Enterprises Inc. ont réalisé les datations au radiocarbone.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à tous ces collaborateurs ainsi qu'au délégué scientifique de Pêches et Océans, M. Yvan Vigneault avec qui nous avons eu plusieurs échanges fructueux. Il en va de même de M. Denis Garlépy, gestionnaire aux Acquisitions scientifiques du ministère des Approvisionnements et Services du Canada qui s'est occupé de l'administration de ce contrat. Cette recherche n'aurait pas pu être réalisée sans l'appui financier des Ministères auxquels se rattachent ces 2 responsables.

REFERENCES

Adams, D.A. 1963. Factors influencing vascular plant zonation in North Carolina Salt Marshes. Ecology 44 (3): 446-456.

Adams, W.P., Mathewson, S.A. 1976. Approaches to the study of icepush features, with reference to Gillies Lake, Ontario. Rev. Géogr. Montr. 30 (1-2): 187-196.

Allard, M. 1981. L'Anse-aux-Canards, île d'Orléans, Québec. Evolution holocène et dynamique actuelle. Géogr. phys. Quat. 35 (2): 133-154. 24 fig. 3 tabl.

Allard, M. et Champagne, P. 1980. Dynamique glacielle à la pointe d'Argentenay, île d'Orléans, Québec. Géogr. phys. et Quat. 34(2): 159-174.

Anglejan d', B. 1981. Evolution post-glaciaire et sédiments récents de la plate-forme infra-littorale, baie de Sainte-Anne, Estuaire du Saint-Laurent, Québec. Géogr. phys. et Quat. 35 (2): 253-260. 5 fig.

Anglejan d', B., Brisebois, M. 1973. Recent sediments of the St.Lawrence middle Estuary. J. Sed. Petrology 48 (3): 951-964. 10 fig.

Anglejan d', B., Brisebois, M. 1974. First subbottom acoustic reflector of thickness of recent sediments in the Upper Estuary of the St.Lawrence River. Can. J. Earth sci. 11: 232-245.

Anglejan d', B., Ingram, R.G., Savard, J.P. 1981. Suspended exchanges between the St.Lawrence estuary and a coastal embayment. Marine Geol. 40 (1): 85-100. 10 fig.

Association Internationale de recherches hydrauliques. 1977. Multilingual Ice Terminology, Budapest, Centre des recherches pour les ressources de l'eau, section des glaces. 40 p.

Baril, R., Rochefort, B. 1965. Etude pédologique du comté de Kamouraska. Min. de l'Agriculture. Québec.

Bleakney, J.S., Meyer, K.B. 1979. Observations on salt marsh pools, Minas Basin, Nova Scotia 1965-1977. Proc. N.S. Inst. Sci. 29: 353-371.

Blouin, J.L. 1970. Etude écologique et cartographique de la végétation du comté de Rivière-du-Loup. Thèse de doctorat. Univ. Laval. Québec. 371 p.

Blouin, J.L., Grandtner, J.M. 1971. Etude écologique et cartographique de la végétation du comté de Rivière-du-Loup. Serv. Rech. Min. Terres et Forêts, Québec. Mémoire 6. 371 p.

Braun-Blanquet, J. 1932. Plant Sociology. London. McGraw-Hill. New-York. 439 p.

Brochu, M. 1954. Un problème des rives du Saint-Laurent: blocaux erratiques observés à la surface des terrasses marines. Rev. Géomorph. dyn. 5 (2): 76-82.

Brochu, M. 1957. Dynamique actuelle de la glace sur les rives du Saint-Laurent (érosion et sédimentation). C.R. Acad. Sci. (Paris), 244: 2534-2536.

Brochu, M. 1960. Dynamique et caractéristiques des glaces de dérive de l'estuaire et de la partie nord-est du Golfe du Saint-Laurent, hiver 1957-1958. Ottawa. Etude géogr. No 24. 93 p.

Brochu, M. 1961. Déplacements de blocs par la glace le long du Saint-Laurent. Ottawa. Etude géogr. No. 30. 27 p.

Bryan, M.L., Marcus, M.G. 1972. Physical characteristics of nearshore ice ridges. Arctic 25 (3): 182-192.

Caillieux, A., Hamelin, L.E. 1967. Périglaciaire actuel sur le littoral du Bic (Bas Saint-Laurent). Cahiers de Géographie du Québec 11: 362-378.

Caldwell, P.A. 1957. The spatial development of Spartina colonies growing without competition. Ann. Bot. N.S. 21 (82): 203-214.

Canada (Geodetic Survey). Vertical Control Data (47069 NW- 47069 NW). Surveys and Mapping Branch. Energy, Mines and Resources. Ottawa. Canada.

Canada (Pêches et Océans). Données statistiques (fréquence des niveaux d'eau prédits à Pointe-aux-Orignaux entre 1963-1982). Sciences et levés océaniques. Direction générale de l'information marine. Service des données sur le milieu marin.

Canada (Pêches et Océans). 1981. Table des marées et courants du Canada. Volume 3. Fleuve Saint-Laurent et rivière Saguenay. Service des pêches et de la mer. 39 p.

Canada (Pêches et Océans). 1982. Table des marées et courants du Canada. Volume 3. Fleuve Saint-Laurent et rivière Saguenay. Service des pêches et de la mer. 39 p.

Cantin, M. 1974. Marais intertidaux de la région de Kamouraska. Serv. can. faune. Env. Canada. Rapport minéog. 13 p.

Champagne, P. 1978. Evolution littorale et dynamique glacielle. Pointe d'Argentenay, île d'Orléans. Québec. Univ. Laval. Dep. de géogr. Thèse de maîtrise non publiée. 124 p.

Chapman, V.J. 1940. Studies of salt marsh ecology. Sections VI and VII. Comparisons with marshes on the east coast of North America. J. Ecology 28: 118-151.

Chapman, V.J. 1964. Coastal vegetation. Mac Millan Company. New-York.

Chapman, V.J. 1964a. The Algae. Mac Millan, London, 472 p.

Chapman, V.J. 1974. Salt marshes and salt deserts of the world. L. Hill. London. 392 p.

Chapman, V.J. 1976. Coastal vegetation. 2nd ed. Pergamon Press. New-York. 292 p.

Chapman, V.J. 1977. Ecosystems of the world I. Wet coastal ecosystems. Elsever Scientific Pub. Co. 428 p.

Chapman, V.J. Trevarthen, C.B. 1953. General schemes of classification in relation to marine coastal zonation. Journal of Ecology 41: 148-204.

Conrad, H.S. 1935. The plant associations of Central Long Island. Amer. Midland Natur. 16: 433-516.

Conseil consultatif de l'Environnement. 1979. L'utilisation des marais salés du Saint-Laurent entre La Pocatière et l'Isle-Verte. Gouv. du Québec. Ministère de l'Environnement. Décembre 1979. 5 p.

Conseil consultatif de l'Environnement. 1982. Proposition préliminaire d'une politique sur les battures du Québec. Ministère de l'Environnement. 74 p.

Cremer, M. 1979. Influence de l'histoire géologique du fleuve Saint-Laurent sur ses aspects morphosédimentaires actuels. Bull. Inst. Géol. bassin d'Aquitaine 26: 5-41.

Dansereau, P. 1944. Interpenetrating climaxes in Quebec. Science 99: 426-427.

Dansereau, P. 1949. Les associations du cordon littoral sur les grèves gaspésiennes. Ann. Acfas 15: 130-131.

Dansereau, P. 1959. Phytogeographia laurentiana, II: The principal plant association of the St.Lawrence Valley. Contr. Inst. Bot. Univ. Montreal. No 75.

Davis, R.A. 1973. Coastal Ice Formation and its Effects on Beach Sedimentation. Shore and Beach 41 (1): 3-9.

Denis, R. 1973. Etude géologique et géomorphologique de la station forestière de Parke, Université du Québec. Montréal. 10 p.

Dionne, J.C. 1962. Note sur les blocs d'estran, littoral sud du Saint-Laurent. Can. Géogr. 7 (2): 69-77.

Dionne, J.C. 1963a. Le problème de la terrasse et de la falaise Mic Mac. Rev. can. Géogr. 17 (1-2): 9-25.

Dionne, J.C. 1966-1967. Cartes morphosédimentologiques de la région La Pocatière/Cap St-Ignace; Qué. Env. Canada, Dir. Terres. 3 feuilles au 1:50 000_e.

Dionne, J.C. 1968a. Schorre morphology on the south shore of the St.Lawrence Estuary. Amer. J. sci. 266 (5): 380-388.

Dionne, J.C. 1968b. Morphologie et sédimentologie glacielle, littoral sud du Saint-Laurent. Zietsch. Geomorph. Sp. Bd. 7: 56-84.

Dionne, J.C. 1968c. Action of shore ice on the tidal flats of the St.Lawrence Estuary. Maritime Sediments 4 (3): 113-115.

Dionne, J.C. 1969a. Erosion glacielle littorale, estuaire du Saint-Laurent. Rev. Géogr. Montr. 23 (1): 5-20.

Dionne, J.C. 1969b. Tidal flat erosion by ice at La Pocatière St.Lawrence Estuary. J. Sed. Petrol. 39 (3): 1174-1181.

Dionne, J.C. 1970a. Aspects morphosédimentologiques du glaciel, en particulier des côtes du Saint-Laurent. Québec. Env. Canada. Rapp. Infor. Q-9. 324 p.

Dionne, J.C. 1970b. Exotic pebbles in Quaternary deposits from the south coast of the St.Lawrence Estuary. Québec. Maritime Sediments 6 (3): 110-112.

Dionne, J.C. 1971a. Erosion glacielle de la slikke, estuaire du Saint-Laurent. Rev. Géomorph. dyn. 20 (1): 5-21.

Dionne, J.C. 1971b. Polygonal patterns in muddy tidal flats. J. Sed. Petrol. 41 (3): 838-839.

Dionne, J.C. 1972. Le Quaternaire de la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles, côte sud du Saint-Laurent; Québec, Envir. Canada, Centre Rech. For. Laurentides, Rapp. Infor. Q-F-X-27: 95 p. 22 fig.

Dionne, J.C. 1972a. Caractéristiques des schorres des régions froides, en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. Zeitsch. Geomorph. Sp. BD. 13: 131-162.

Dionne, J.C. 1972b. Caractéristiques des blocs erratiques des rives de l'estuaire du Saint-Laurent. Rev. Géogr. Montr. 26 (2): 125-152.

Dionne, J.C. 1972c. Sur l'origine des estrans rocheux du Saint-Laurent. Ann. ACFAS 39: 76.

Dionne, J.C. 1972d. Micro-craters in muddy tidal flats of cold regions. Can. Géogr. Qué. 16 (39): 495-498.

Dionne, J.C. 1972e. Vocabulaire du glaciel. Québec. Env. Canada. Rapp. Infor. Q-F-X-34: 47p.

Dionne, J.C. 1972f. Ribbed grooves in mud tidal flats of cold regions. J. Sed. Petrol. 42 (4): 848-851.

Dionne, J.C. 1973a. La notion du pied de glace (icefoot), en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. Can. Géogr. Qué. 17 (41): 221-250.

Dionne, J.C. 1973b. Distinction entre stries glacielles et stries glaciaires, Rev. Géogr. Montr. 27 (2): 190-196.

Dionne, J.C. 1974a. Bibliographie annotée sur les aspects géologiques du glaciel. Québec. Env. Canada. Rapp. IAU-X-9. 122 p.

Dionne, J.C. 1974b. Polished and striated mud surfaces in the St.Lawrence tidal flats. Québec. Can. J. Earth Sci. 11 (6): 860-866.

Dionne, J.C. 1974c. Mud cracks and polygons on ice push ridges in lower tidal flats of the St-Lawrence Estuary. Can. J. Earth Sci. 11 (3): 489-494.

Dionne, J.C. 1974d. Failles cassures dans la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles. Québec. Rev. géogr. Montr. 1974 28 (2): 179-198.

Dionne, J.C. 1977. La mer de Goldthwait au Québec. Géogr. phys. Quat. 31 (1-2): 61-80.

Dionne, J.C. 1981a. A Boulder Strew Tidal Falt. North Shore of the Gulf of St-Lawrence. Québec. Géogr. phys. et Quat. 35 (2): 261-267. 11 fig.

Dionne, J.C. 1981b. Données préliminaires sur la charge sédimentaire du couvert de glace dans la baie de Montmagny. Québec. Géogr. phys. et Quat. 35 (2): 277-282. 9 fig.

Dionne, J.C. 1981c. Ice action in muddy tidal flats, middle St.Lawrence Estuary. Proc. Workshop on ice action on shores (Rimouski). Ottawa. NRC-Acroses. Publ. no 3.

Dionne, J.C. 1981d. Le déplacement de mégablocs par les glaces sur les rivages du Saint-Laurent. Conseil national de recherches. Canda. Comptes rendus de l'atelier sur l'action des glaces sur les rivages. Rimouski, 5-6 mai 1981: 53-82.

Dohler, G. 1968. Chart Datum (Canadian Hydrographic Service). International Hydrographic Review 45 (1).

Dohler, G.C., Ku, L.F. 1970. Presentation and assessment of tides and water level records for geophysical investigations. Can. J. Earth Sci. 7: 607-625.

Doran, M.A. 1978. Etude écologique de la végétation et de son utilisation par la Grande Oie blanche (Anser caerulescens Atlanticus) dans le marais intertidal de la Réserve nationale de faune du Cap Tourmente. Québec. Environnement Canada. Serv. can. de la faune. Québec. Août 1978. 45 p.

Doran, M.A. 1981. Utilisation par la Grande Oie blanche (Anser caerulescens Atlanticus) de la végétation dans le marais intertidal de la réserve nationale de Cap Tourmente. Québec. Thèse de maîtrise. Faculté de foresterie et de géodésie. Département d'écologie et de pédologie. Laboratoire d'écologie forestière. Université Laval. Québec. 142 p.

Doty, M.S. 1957. Rocky Intertidal Surfaces in Hedgpeth, J.W. Treatese on marine geology and paleogeology. Ecology. Gel. Soc. America. Memoir 67 vol.: 535-575.

Dozier, J., Marsh, B.D., Marsh, W.M. 1976. Ice cups formation on Lake Superior Icefoots. Rev. Géogr. Montr. 30 (1-2): 161-169.

Drapeau, G., Morin, R. 1981. Contribution des vagues au transport des sédiments littoraux dans la région de Trois-Pistoles, estuaire du Saint-Laurent. Géogr. phys. Quat. 35 (2): 245-251.

Dryade (Le Groupe), 1980. Habitats propices aux oiseaux migrateurs. Le long des rives de la rivière Outaouais, de la rivière Richelieu, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent de la côte nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne, des îles-de-la-Madeleine. Service canadien de la faune. Environnement Canada, région de Québec. 56 p.

Dutil, J.D., Fortin, M. 1982. La communauté de poissons d'un marécage intertidal de l'estuaire du Saint-Laurent. A paraître.

Dutil, J.D., Fortin, M., Vigneault, Y. 1982. L'importance des zones littorales pour les ressources halieutiques. Canada, Pêches et Océans. Direction de la recherche sur les pêches. Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques no 1653: 28 p.

Elson, J.A. 1969. Late Quaternary marine submergence of Québec. Rev. Géogr. Montr. 23 (3): 247-258.

Evenson, E.B. 1973. The Ice-foot Complex: Its Morphology, Classification, Mode of Formation, and Importance as a Sediment Transporting Agent, Michigan Academician 6 (1): 43-57.

Gadd, N.R. 1964. Moraines in the Appalachian region of Québec. Bul. of the Geol. Soc. of America. 75 (4): 1249-1254.

Gauthier, B. 1971. Contribution à la régionalisation du Saint-Laurent. Naturaliste can. No 98: 401-414.

Gauthier, B. 1972a. Recherches floristiques et écologiques sur l'hydrolittoral de l'archipel de Montmagny. Thèse de maîtrise de l'Université Laval. 174 p.

Gauthier, B. 1977. Recherches des limites biologiques du Saint-Laurent (phytogéographie du littoral). Thèse de doctorat. Univ. Laval. Québec. 233 p.

Gauthier, B. 1978. Détermination de la silkke et application au benthos laurentien. Isle-Verte. Québec. Géogr. phys. Quat. 22. 32 (4): 333-349.

Gauthier, J., Lehoux, D., Rosa, J. 1980. Les marécages intertidaux dans l'estuaire du Saint-Laurent. Env. Canada. Serv. can. faune. 91 p.

Goldthwait, J.W. 1911. The twenty foot terrace and sea cliff of the Lower St.Lawrence. Amer. J. Sci. (4th ser.) 32: 291-317.

Gourde, G. 1980. Etude cadre technique et économique. Les Aboiteaux, comté de Kamouraska. MAPA, direction générale du génie. Rimouski. Avril. 181 p.

Gouvernement du Québec. 1978. Répertoire toponymique du Québec. Commission de toponymie. Editeur officiel. Québec. 1199 p.

Guilcher, A. 1975. Introduction au premier colloque international sur l'action géologique des glaces flottantes. Rev. Géogr. Mont. 30 (1-2): 5-7.

Gulcher, A. 1981. Cryoplanation littorale et cordons glaciels de basse mer dans la région de Rimouski, côte sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Québec. Géogr. phys. et Quat. 35 (2): 155-169. 17 fig.

Grandtner, M.M. 1966. La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval. Québec. 216 p.

Hamel, A. 1942. Végétation de Saint-Roch des Aulnaies. Rev. Oka. 16: 59-61.

Hamel, A. 1955. Esquisse écologique des comtés de l'Islet et de Kamouraska. Can. J. Bot. 33: 223-250.

Hamel, A. 1960. Quelques associations végétales importantes au sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Ann. ACFAS 26: 80.

Hamelin, L.E. 1959. Dictionnaire franco-anglais des glaces flottantes. Québec. Univ. Laval. Inst. de géographie. 54 p.

Hamelin, L.E. 1960. Classification générale des glaces flottantes. Naturaliste can. 87 (10): 209-227.

Hamelin, L.E. 1961. Périglaciaire du Canada: idées nouvelles et perspectives globales. Cah. Géogr. Qué. 10: 141-203.

Hamelin, L.E., Cailleux, A. 1966. Le marais troué, forme nouvelle de marais littoral. C.R. Acad. Sci. Paris. ser. D 262: 540-543.

Hamelin, L.E., Letarte, J. 1966. Glace de rive et haut-estran, île d'Orléans. Evolution depuis 1957. Bull. Ass. Fr. Et. Quat. 3 (7): 112-119.

Hampl, A., Doré, W.G. 1956. Notes préliminaires sur la limite respective des espèces maritimes et estuariennes dans la végétation intertidale de la côte-du-sud. Ann. ACFAS. 22: 59.

Hartog, C. Den. 1959. The epilithic algal communities occurring along the coast of the Netherlands. North Holland Pub. Amsterdam. 241 p.

Harvey, M.J. 1974. Salt Marshes of the Maritimes Nature Canada 2 (2): 22-26.

Hedgpeth, J.W. 1957. Classification of marine environments in Hedgpeth J.W. Treatese on marine ecology and paleoecology: Ecology. Géol. Soc. America Memoir 67: 17-27.

Hubert, C. 1973. Région de Kamouraska - La Pocatière - St-Jean - Port-Joli. Québec. Ministère des Richesses naturelles. RG - 151: 205 p.

Jacquet, J. 1949. Recherches écologiques sur le littoral de la Manche. Les prés-salés et la Spartine de Townsend, les estuaires, la Tangue. Encyclopédie biogéographique T.S. Paul Lechevalier. Paris. 374 p.

Johnson, D.S., York, H.H. 1915. The relation of plants to tide-levels. Carnegie Inst. Wash. Publ. 206. Washington. D.C. 162 p.

Knight, J.B. 1934. A salt marsh study. Amer. J. Sci. Sec. 5, 28: 161-181.

Knight, J.R., Dalrymple, R.W. 1976. Winter conditions in a macrotidal environment. Cobequib Bay. Nova Scotia. Rev. Géogr. Montr. 30 (1-2): 65-85.

Komar, P.D. 1976. Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall. Englewood Cliffs (New-Jersey). 429 p.

Lacoursière, E. 1969. Etude écologique de la végétation riparienne entre Ste-Famille et la Pointe-Argentenaye à l'Ile d'Orléans. Thèse de maîtrise. Faculté de Foresterie et de Géodésie. Université Laval. Québec. 150 p.

Lacoursière, E., Grandtner, M. 1971. Contribution à l'étude écologique de la végétation riparienne de l'Ile d'Orléans. Naturaliste can. 98: 443-459.

Laverdière, C., Dionne, J.C., Hamelin, L.E., Brunel, P., Lasserre, J.C. 1970. Les Grandes divisions du Saint-Laurent. Rev. Géogr. Montr. 24 (3): 282-303.

Lavoie, V., Gauthier, B. 1970. Etude phytoécologique du littoral de l'Ile-aux-Grues, des îles avoisinantes et de Montmagny. Centr. rech. eau. Univ. Laval. Québec. Rapport technique. 30 p.

Lavoie, V., Brind'Amour, M. 1981. Evaluation de la dynamique et de la productivité primaire épigée de la végétation des marais salés du Saint-Laurent, région de Kamouraska. Université Laval. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. 54 p.

Lee, H.A. 1962. Géologie de la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles, dépôts meubles. Comm. géologique du Canada. Etude 61-32. 2 p.

Lemieux, G. 1980. Les marais intertidaux de Kamouraska. Office de planification et de développement du Québec. 70 p.

Locat, J. 1976. Quaternary geology of the Baie-des-Sables/Trois-Pistoles area, Quebec with some emphasis on the Goldthwait sea clays. M-Sc thesis, Department of Earth Sciences. Waterloo. Ontario. 214 p.

Locat, J. 1977. L'émersion des terres dans la région de Baie-des-Sables - Trois-Pistoles, Québec. Géogr. phys. Quat. 31 (3-4): 297-306.

Locat, J. 1978. Le Quaternaire de la région de Baie-des-Sables - Trois-Pistoles, Québec. Min. Rich. nat. DPV-605. 64 p.

Loring, D.H., Nota, D.J.G. 1973. Morphology and Sediments of the Gulf of St.Lawrence. Environment Canada, Fisheries and Marine Service, Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, no 182. 147 p.

Lyell, C. 1843. On the ridges, elevated beaches, inland cliffs and boulder formations of the Canadian Lakes and Valley of the St.Lawrence. Londres. Philo. Mag. & Journ. Sc. 23: 183-186.

Lyell, C. 1845. Travels in North America in the years 1841-2. New-York. Wiley & Putman, vol. 2. 221 p.

Mackay, R.J., Mackay, D.K. 1977. The stability of ice-push features. Mackenzie River, Canada. Can. J. Earth Sci. 14 (10): 2213-2225.

Mansikkaniemi, H. 1976. Ice action on the seashore, Southern Finland: observations and experiments, Fennia 143: 1-17.

Marie-Victorin, Frère. 1934. Le fleuve Saint-Laurent, milieu biologique pour les plantes vasculaires. Trans. Roy. Soc. Can. 28, (111): 1-17.

Marie-Victorin, Frère. 1943. Observations sur la bio-écologie du Spartina Pectinata. Contr. Inst. Bot. Univ. MR. No 48: 29-36.

Marie-Victorin, Frère. 1964. Flore laurentienne. 2e édition. Presses de l'Université de Montréal. Montréal. 925 p.

Marsh, W.M., Marsh, B.D., Dozier, J. 1973. Formation, structure and géomorphic influence of lake Superior Icefoots. Amer. J. Sci. 273 (1): 48-64.

Martineau, G. 1977. Géologie des dépôts meubles de la région de Kamouraska - Rivière-du-Loup. Québec. Ministère des Richesses naturelles. DPV-545. 17 p.

Martineau, G. 1980. Dépôts meubles de la région de Rimouski - Trois-Pistoles. Québec. Ministère de l'Energie et des Ressources. DPV-717. 10 p.

Massart, J. 1907. Essai géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique. Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique 44.

McCann, S.B., Owens, E.H. 1969. The Size and Shape of sediments in three Arctic beaches. Southwest Devon Island. N.W.T. Canada. Arctic and Alpine Research 1 (4): 267-278.

McCormack, R. 1978. Hydrogéologie de Rivière-du-Loup - Trois-Pistoles. Québec. Ministère des Richesses naturelles. Direction générale des eaux. 49 p.

Michel, B. 1971. Winter regime of rivers and lakes, U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Hanover (New Hampshire). Publ. AD-724-121. 129 p.

Molinier, R. 1960. Cartes des associations végétales terrestres et des biocénoses marines dans le sud-est de la France. Méthodes de la cartographie de la végétation. C.N.R.S. Paris 47: 157-176.

NASA. 1977. Landsat: Data Users Hand Book. Goddard Space Flight Center, Greenbelt. Maryland: 3-5.

Nichol, E.A.T. 1935. The ecology of a salt marsh. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 20: 203-261.

Nielsen, N. 1979. Ice-foot processes. Observations of erosion of a rocky coast. Disko, West Greeland. Zeitsch. Geomorph. 23 (3): 321-331.

Ouellet, Y., Cercoau, J. 1976. Mélange des eaux douces et salées du Saint-Laurent; circulation et salinité. Cah. de CENTREAU (Univ. Laval) 1 (4): 57 p.

Payette, S., Gauthier, B. 1972. Les structures de végétation: interprétation géographique et écologique, classification et application. Naturaliste can. 99: 1-26.

Peres, J.M. 1961. Océanographie biologique et biologie marine I. La vie benthique. PVF Paris. 541 p.

Pestrong, R. 1972. Tidal flat sedimentation at Cooley Landing, southwest San Francisco Bay. Sediment geol. 8: 251-288.

Pomeroy, L.P., Wiegert, R.G. 1980. The Ecology of a Salt Marsh Geological Studies 38. 271 p.

Postma, A. 1968. Sediment transport and Sedimentation in the Estuarine Environment. In Estuaries, G.H. Lauff editor. A.A.A.S. Publication 84: 158-179.

Prat, H. 1932. Flore de la forêt de la Grève. Bull. de la Soc. Provencher.

Prat, H. 1933. Les zones de végétation et les faciès des rivages de l'estuaire du Saint-Laurent, au voisinage de Trois-Pistoles. Naturaliste can. 50: 93-136.

Ranwell, D.S. 1961. Spartina Salt Marshes in Southern England I. The effect of Sheep Grazing at the Upper Limits of Spartina Marsh in Bridgewater Bay. J. Ecol. 49: 325-340.

Ranwell, D.S. 1964. Spartina salt marshes in Southern England III. Rates of establishment, succession and nutriment supply at Bridgewater Bay. Somerset. J. Ecol. 52: 95-105.

Raymond, M. 1950. Esquisse phytogéographique du Québec. Jardin Bot. Montréal. Mémoires 5. 1950.

Redfield, A.C. 1967. The ontogeny of a salt marsh estuary. In Estuaries G.H. Lauff editor. A.A.A.S. Publication 83: 108-114.

Redfield, A.C. 1972. Development of a New England salt marsh Ecol. Monogr. vol. 42: 201-237.

Reed, A., Moisan, G. 1971. The spartina tidal marshes of the St.Lawrence estuary and their importance to aquatic birds. Naturaliste canadien 98: 905-922.

Reineck et Singh 1975. Depositional Sedimentary Environments, Springer-Verlag. New-York 1975. 439 p.

Rousseau, J. 1952. Les zones biologiques de la péninsule Québec-Labrador et l'hémarctique. Mém. Jardin bot. Montréal. No 27.

Rousseau, C. 1972. Recherches sur la distribution des principales espèces de la flore vasculaire de la péninsule du Québec-Labrador. Thèse de doctorat. Univ. Laval. Québec. 998 p.

Russel, Richard J. 1967. River Plains and Sea Coasts. University of California Press. Berkeley and Los Angeles. 173 p.

Sérodes, J.B. 1980. Etude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Environnement Canada. Direction générale des eaux intérieures. Québec. 28 p.

Sérodes, J.B. 1982. Le phénomène de la sédimentation sur les battures du Saint-Laurent. Mémoire remis au Conseil consultatif de l'Environnement. 11 p.

Short, A.D. 1976. Observations on ice deposited by waves on Alaskan arctic beaches. Rev. Géogr. Montr. 20 (1-2): 115-122.

Silverber, N. 1978. Sediments of the Rimouski shore region, lower Saint.Lawrence Estuary. Can. J. Earth Sci. 15: 1724-1736.

Steers, J.A. 1953. The Sea Coast. London. Collins. 276 p.

Stephenson, T.A., Stephenson, A. 1949. The universal features of zonation between tide marks on rocky coast. J. Ecol. Vol. 37: 289-305. (Gauthier, 1972).

Stephenson, T.A., Stephenson, A. 1954a. Life between tide-marks in North America III A. Nova Scotia and Prince Edward Island: description of the region. J. Ecol. vol. 42: 14-45.

Stephenson, T.A., Stephenson, A. 1954b. Life between tide-marks in North America III B. Nova Scotia and Prince Edward Island: the geographical features of the region. J. Ecol. 42: 46-70.

Taylor, N. 1938. A preliminary report on the salt marsh vegetation of Long Island, New-York. Bull. N.Y. State Mus. 316: 21-84.

Tremblay, G. 1967. Observations et mesures sur les blocs glaciels du Cap à l'Orignal. Cah. Géogr. Qué. 23: 402-411.

Troude, J.P., Sérodes, J.B., Edouard, B. 1981. Etude des mécanismes sédimentologiques des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cas de la batture de Cap Tourmente. Direction des Eaux Intérieures. Environnement Canada. Mars 1981. 117 p.

Van Straaten, L.M.J.U. 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. Leidse Géol. Medel. 19-1-110.

Van Straaten, L.M.J.U., Kuenen, Ph. H. 1958. Tidal action as a cause of clay accumulation. Jour. sed. Petrology 28 (4): 406-413.

Verger, F. 1956. Quelques remarques sur la formation et le relief des schorres. Bulletin de l'association de géographe français 259-260: 146-150.

Verger, F. 1968. Marais et wadden du littoral français. Etude de géomorphologie. Bordeaux. Biscaye frères. 541 p.

Womersley, H.B.S., Edmonds, S.J. 1952. Marine Coastal Zonation in Southern Australia in relation to a general scheme of dessification. Journal of Ecology 40: 84-90.

Worgan, J.P., Fitzgerald, G.J. 1981a. Dial activity and diet of three sympatic sticklebacks in tidal marsh pools. Can. J. Zool. 59: 2375-2379.

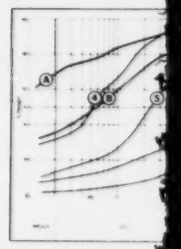
Worgan, J.P., Fitzgerald, G.J. 1981b. Habitat segregation in a salt marsh among adult sticklebacks (Gasterosteidae). Environ. Biol. Fish 6: 105-109.

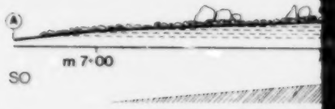
Yapp, R.H. et al. 1917. The salt marshes of the Dovey estuary II. The salt marshes. J. Ecol. 5: 65-103.

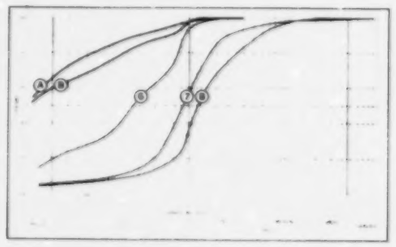
Légende

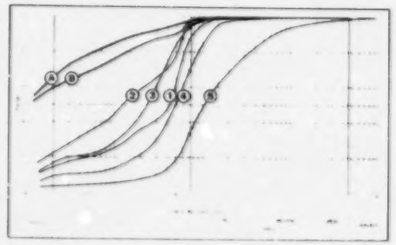
- Cailloux et blocs
- Sable et graviers de plage
- Sable, silt et argile avec rhizomes de Spartine sp.
- Sable et silt
- Horizon de sable, graviers et cailloux
- Argile de la mer de Goldthwait
- Roche en place

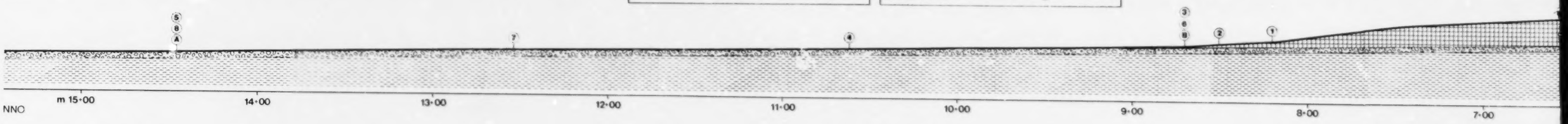
(2) Vase accumulée sur un repère sédimentologique
(B) Sol prélevé à la surface de l'estran
(A) Argile prélevée sous la surface de l'estran

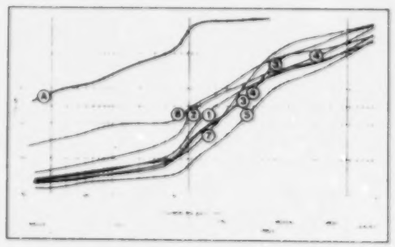


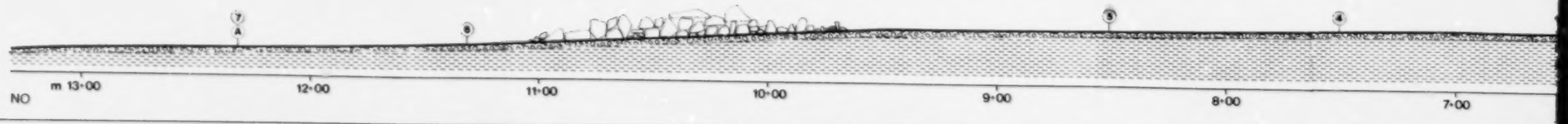












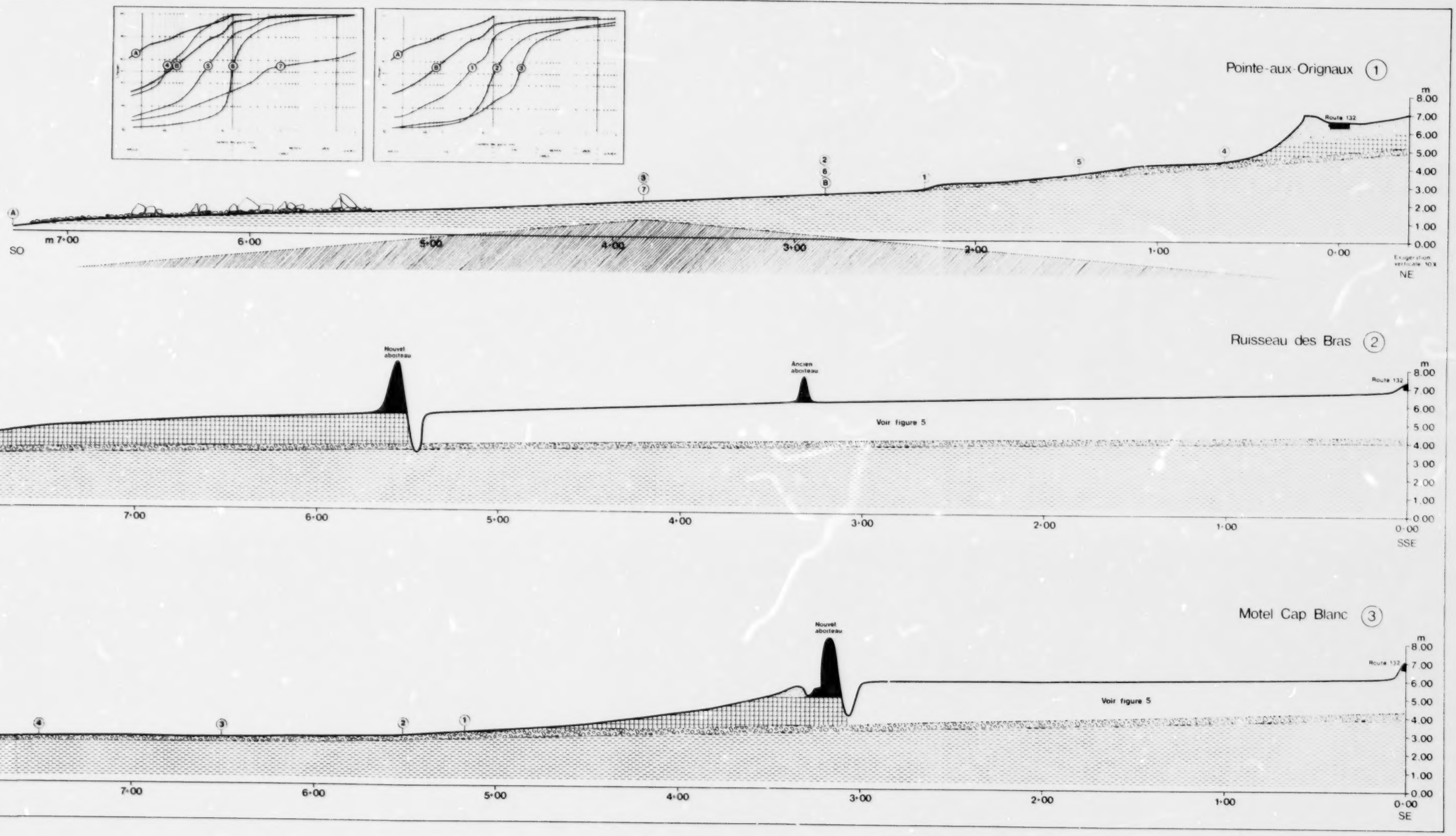
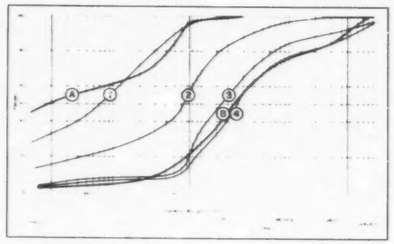
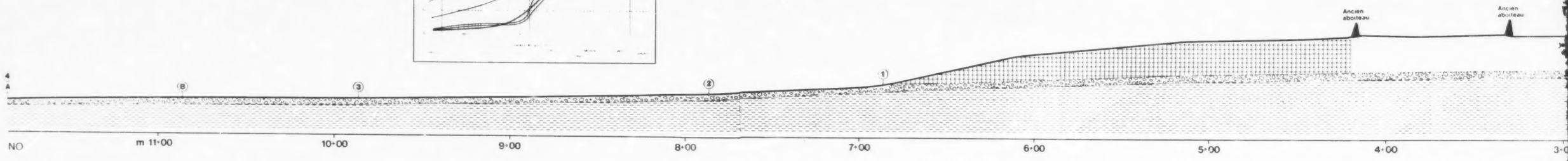
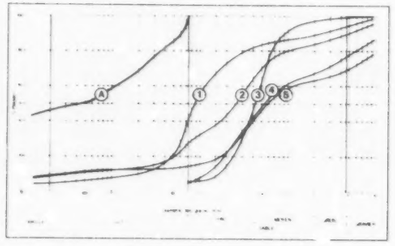


Figure 3a

Profils stratigraphiques aux stations-témoins 1, 2 et 3.



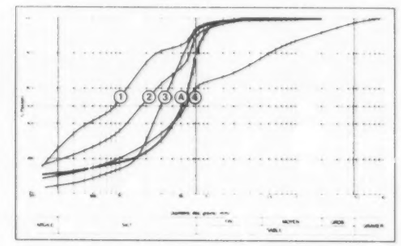


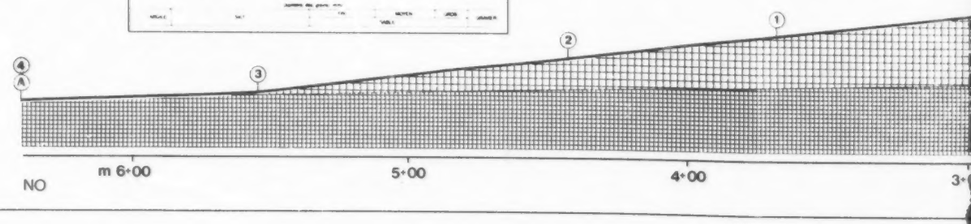


Légende

- Cailloux et blocs
- Sable et graviers de plage
- Sable, silt et argile avec rhizomes de Spartine sp.
- Sable et silt
- Horizon de sable, graviers et cailloux
- Argile de la mer de Goldthwait
- Roche en place

(2) Vase accumulée sur un repère sédimentologique
(6) Sol prélevé à la surface de l'estran
(A) Argile prélevée sous la surface de l'estran





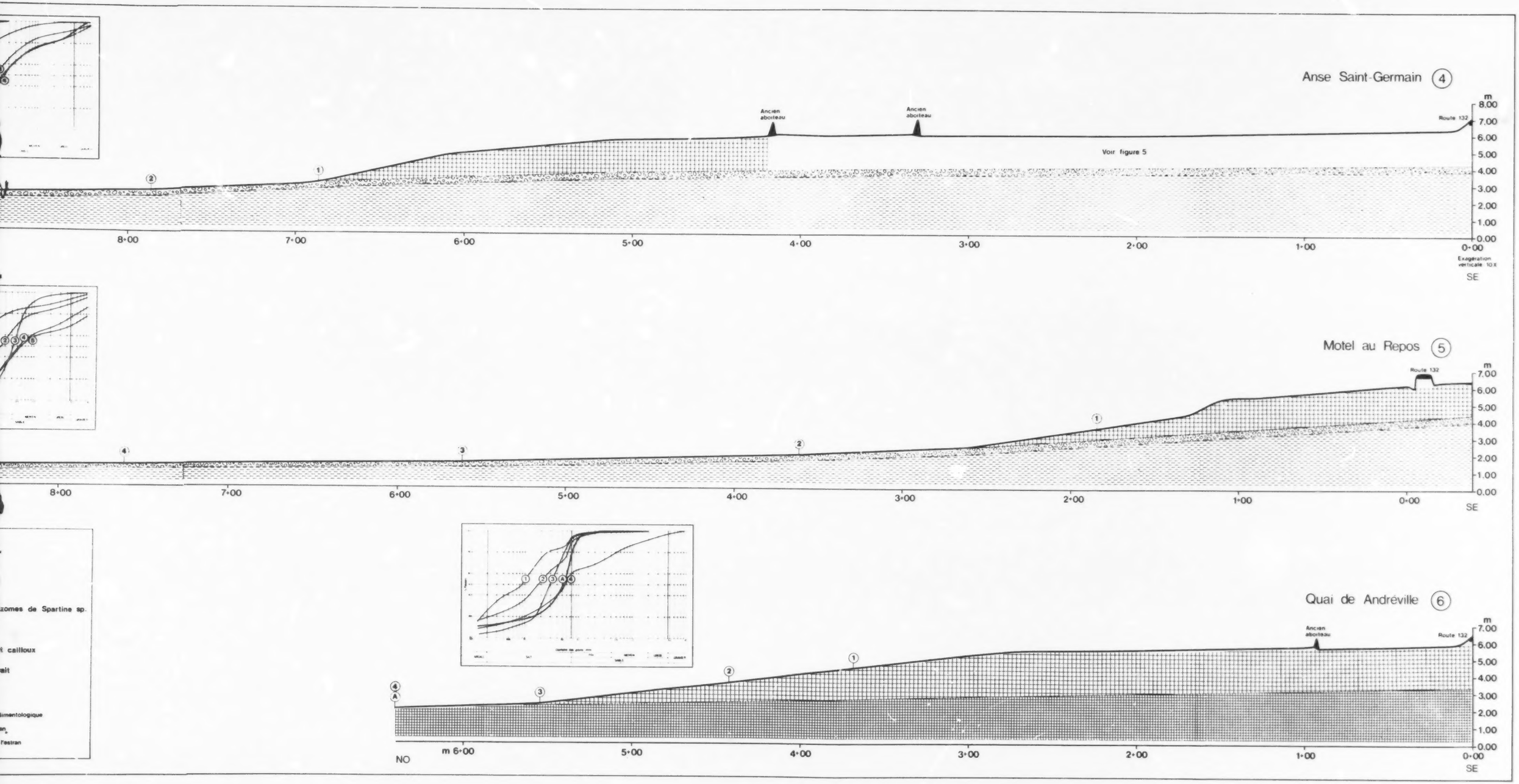
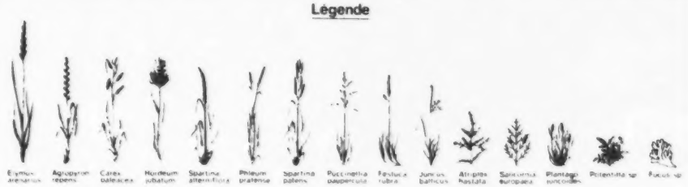
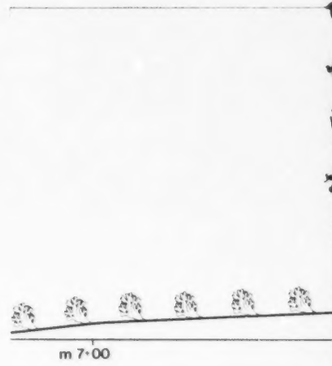


Figure 3b

Profils stratigraphiques aux stations-témoins 4, 5 et 6.

Légende





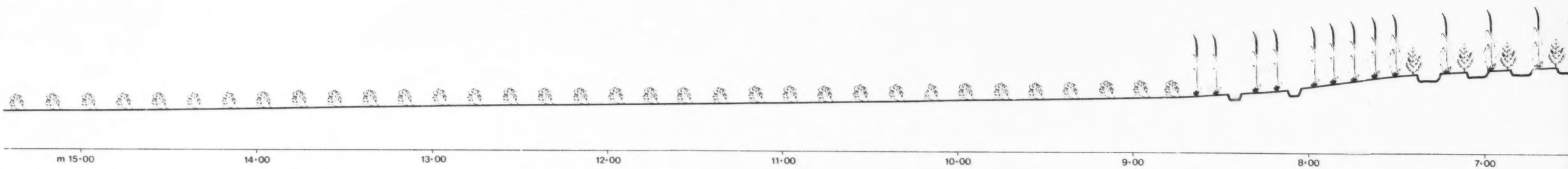
Zone de Spartine alterniflore

PRE SALE A SPARTINE

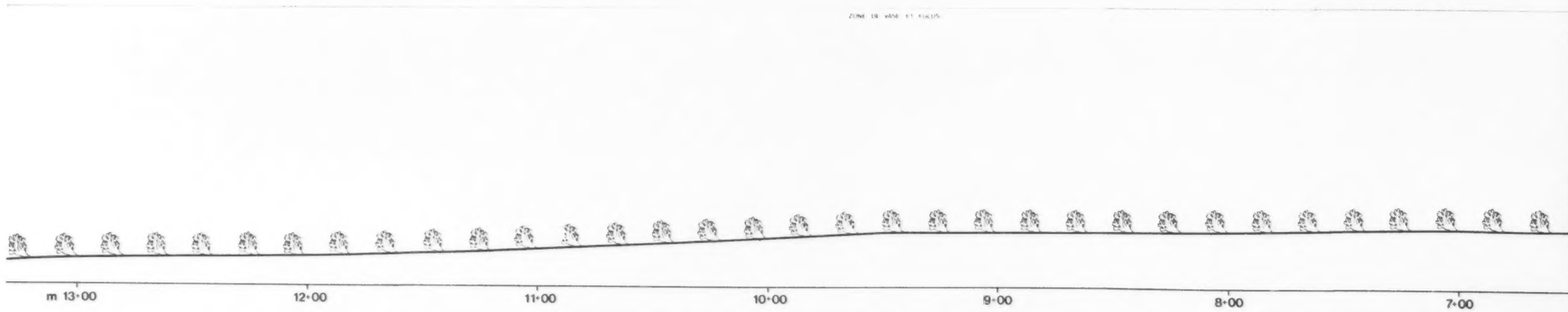
Zone de Spartine alterniflore et de

PRE SALE A SPARTINE ET SA

ZONE DE VASE ET FUCUS



ZONE DE VASE ET FUCUS



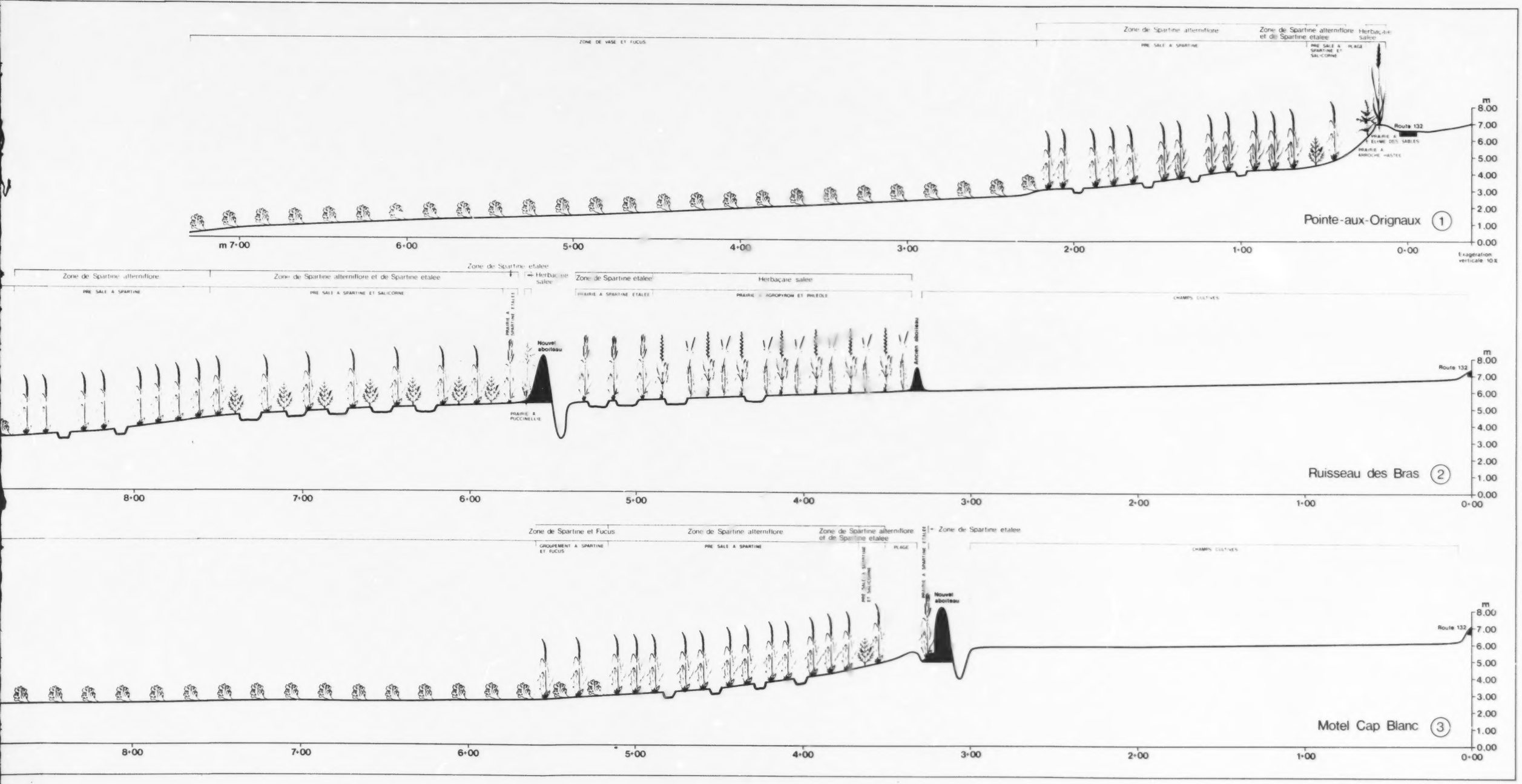
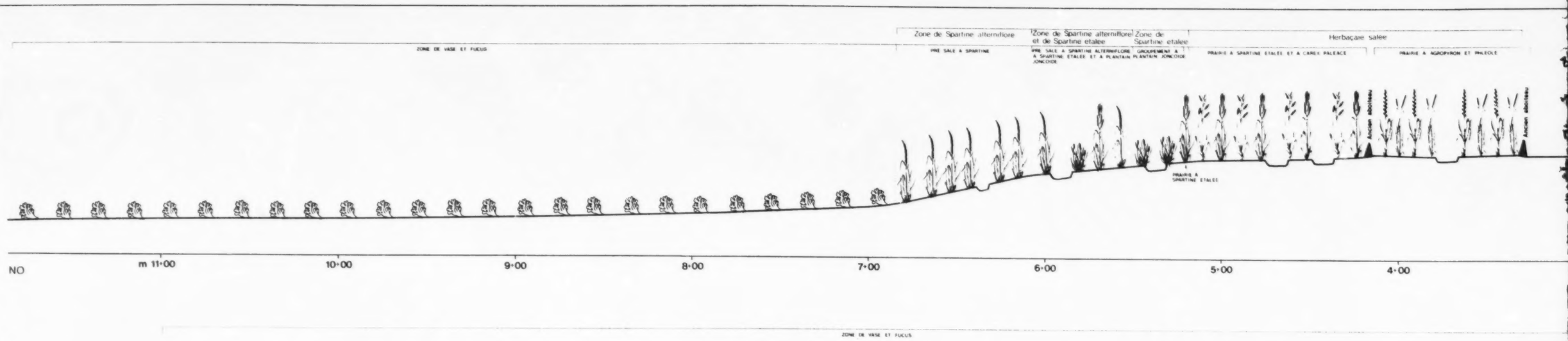
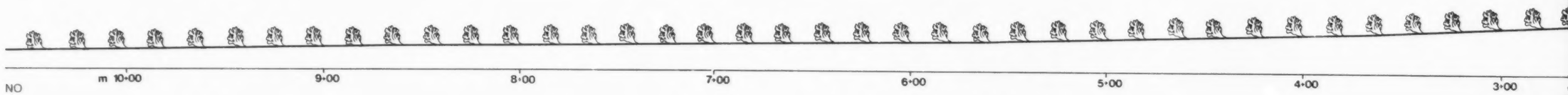
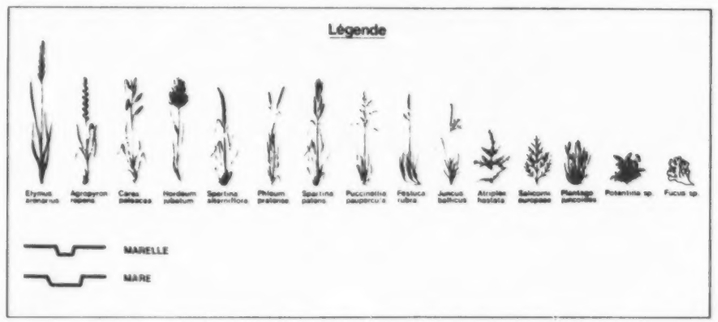


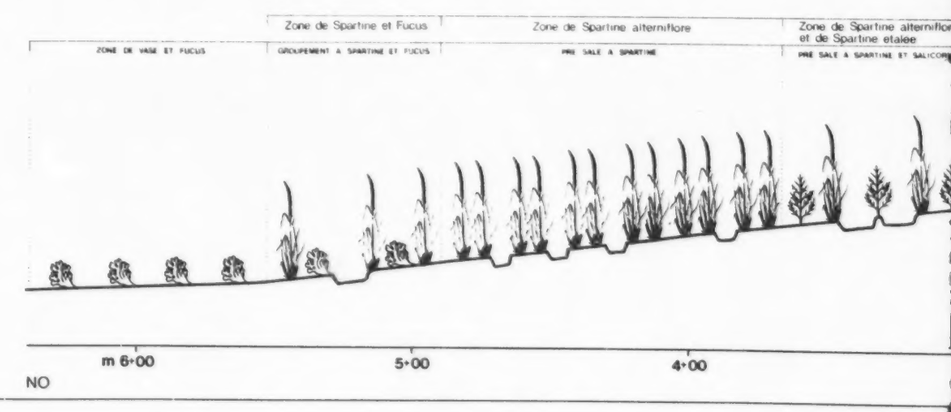
Figure 4a

Profils de la végétation aux stations-témoins 1, 2 et 3.


Zone de Spartine alterniflore
Zone de Spartine alterniflore et de Spartine etalee
Zone de Spartine etalee
Herbaçaie salee
ZONE DE VASE ET FUCUS
PRE SALE A SPARTINE
PRE SALE A SPARTINE ALTERNIFLORE A SPARTINE ETALEE ET A PLANTAIN JONCOIDE
GROUPEMENT A PLANTAIN JONCOIDE
PRAIRIE A SPARTINE ETALEE ET A CAREX PALEACE
PRAIRIE A AGROPYROM ET PHLEOLE
Ancien sautereau
Ancien sautereau
PRAIRIE A SPARTINE ETALEE
NO
m 11·00
10·00
9·00
8·00
7·00
6·00
5·00
4·00
ZONE DE VASE ET FUCUS


NO
m 10·00
9·00
8·00
7·00
6·00
5·00
4·00
3·00


Légende
Elymus arenarius
Agropyron repens
Carex trifasca
Hordeum jubatum
Spartina alterniflora
Phleum arenarius
Spartina patens
Puccinellia paupercula
Festuca rubra
Juncus balticus
Atriplex hastata
Salicornia europaea
Plantago paleoides
Potentilla sp.
Fucus sp.
MARELLE
MARE


Zone de Spartine et Fucus
Zone de Spartine alterniflore
Zone de Spartine alterniflore et de Spartine etalee
ZONE DE VASE ET FUCUS
GROUPEMENT A SPARTINE ET FUCUS
PRE SALE A SPARTINE
PRE SALE A SPARTINE ET SALICORN
m 6·00
5·00
4·00
NO

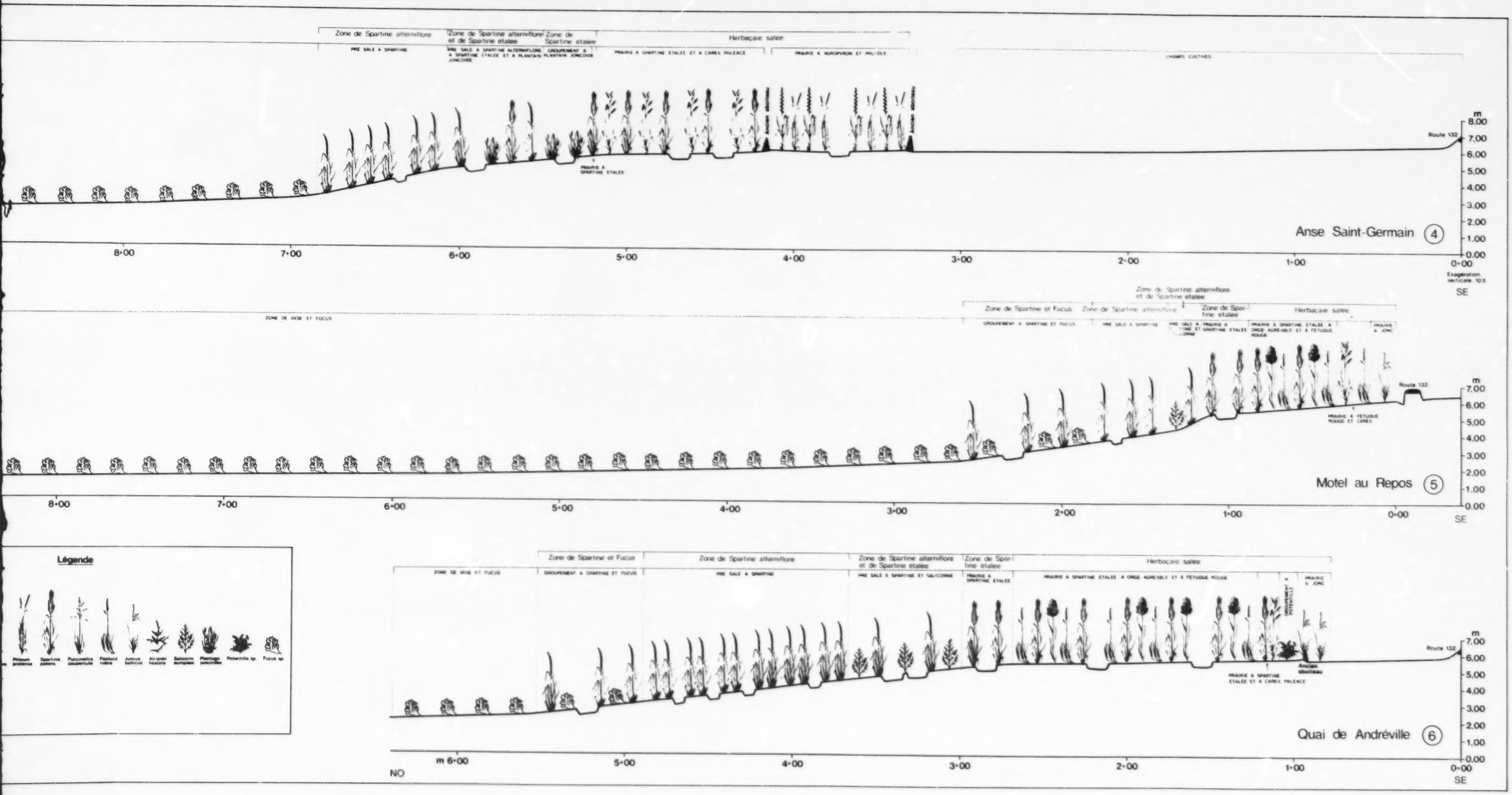


Figure 4b

Profils de la végétation aux stations-témoins 4, 5 et 6.

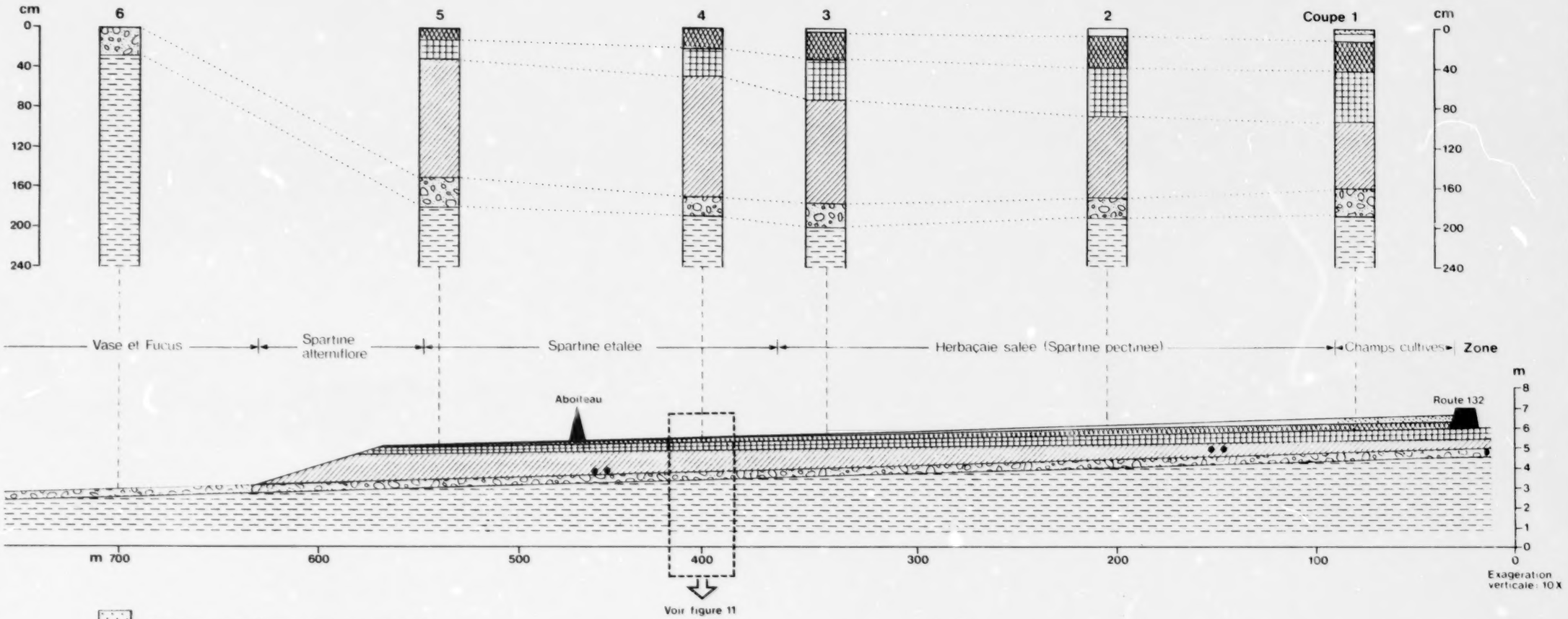
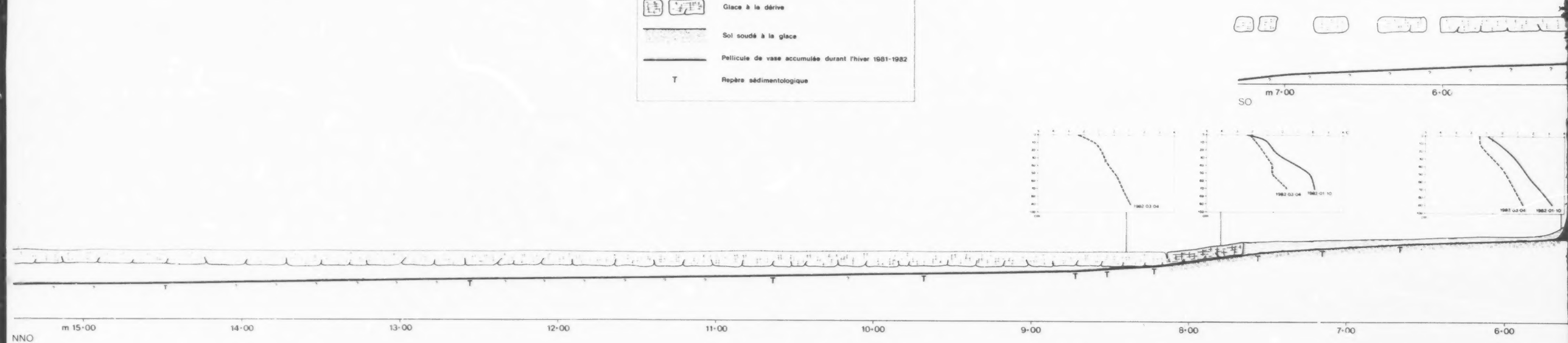


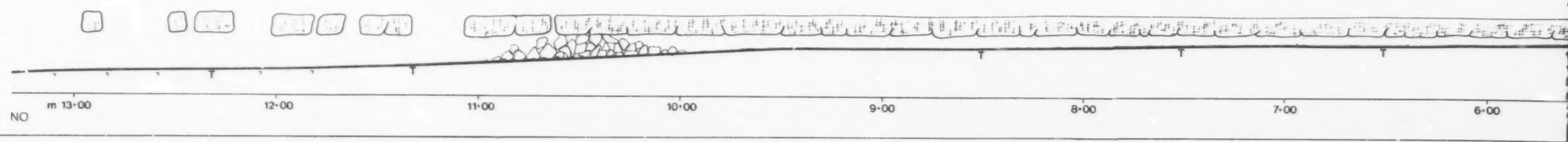
Figure 5

BAIE DE KAMOURASKA: Schéma de la stratigraphie de l'estran.

Légende

- Pied de glace
- Glace d'estran
- Glace scellée au sol et responsable de l'érosion
- Glace à la dérive
- Sol soudé à la glace
- Pellicule de vase accumulée durant l'hiver 1981-1982
- T — Repère sédimentologique





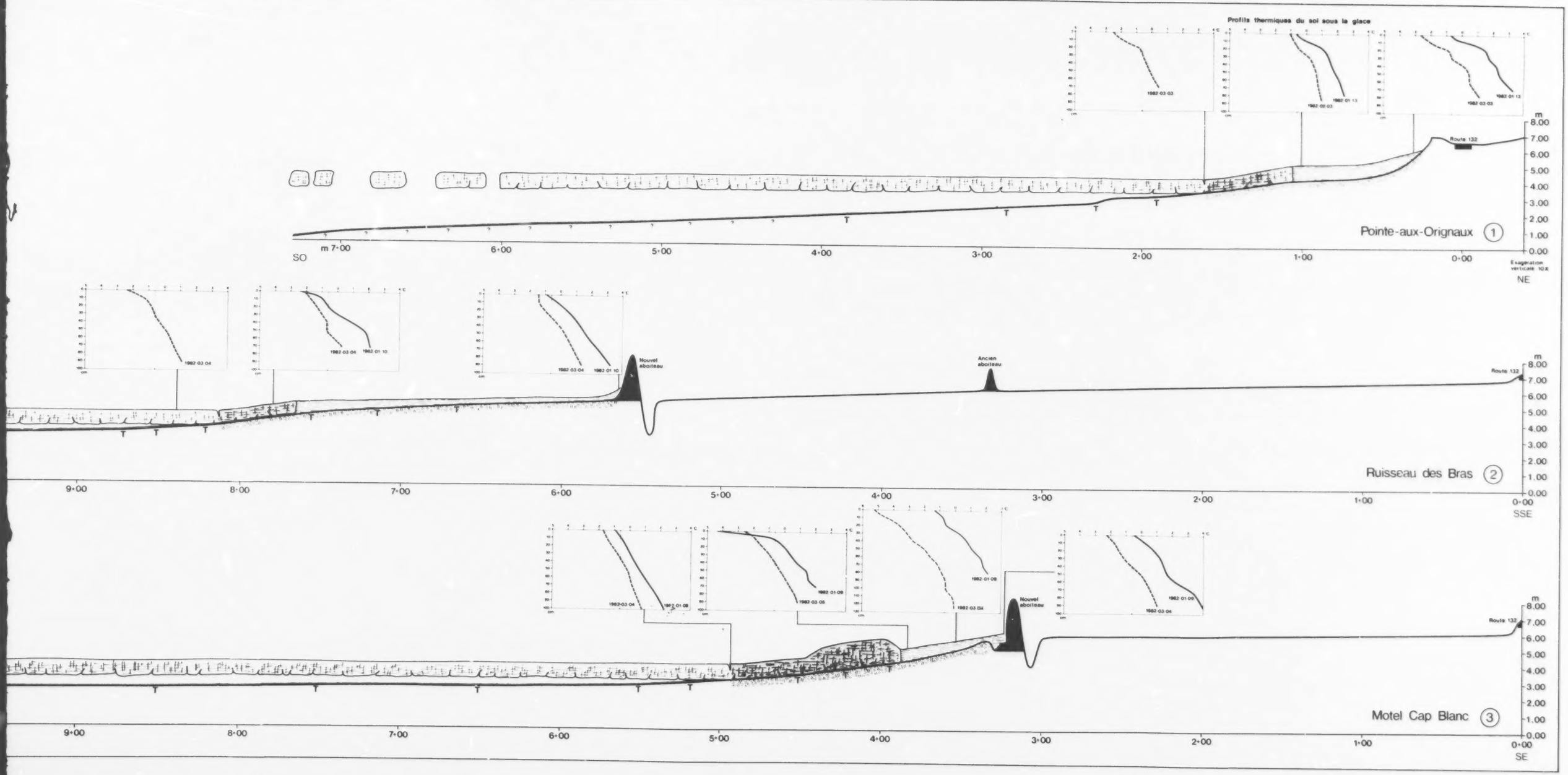
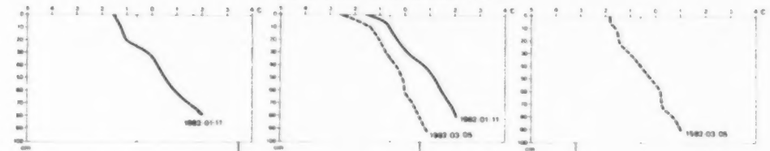
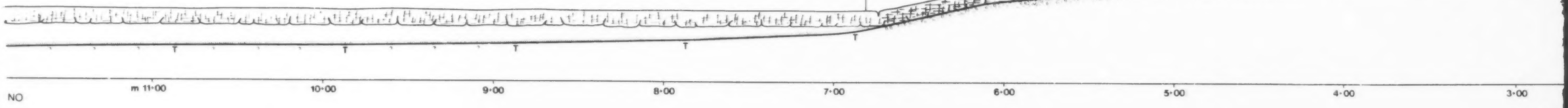


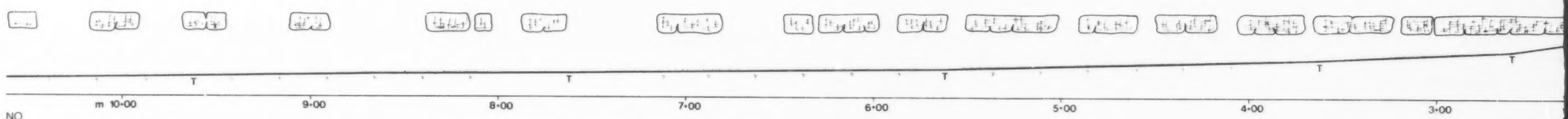
Figure 8a

Profils de la glace de rive aux stations-témoins 1, 2 et 3

Profils thermiques du sol sous la glace

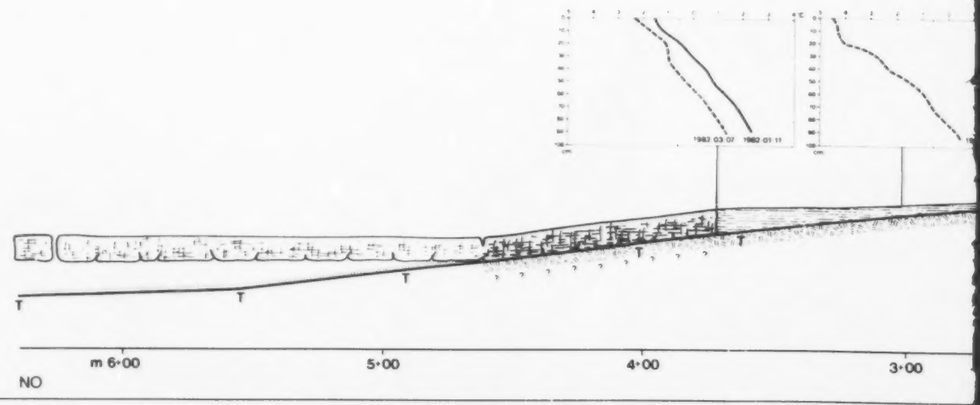






Légende

- Pied de glace
- Glace d'estran
- Glace soudée au sol et responsable de l'érosion
- Glace à la dérive
- Sol soudé à la glace
- Pellicule de vase accumulée durant l'hiver 1981-1982
- T — Repère sédimentologique



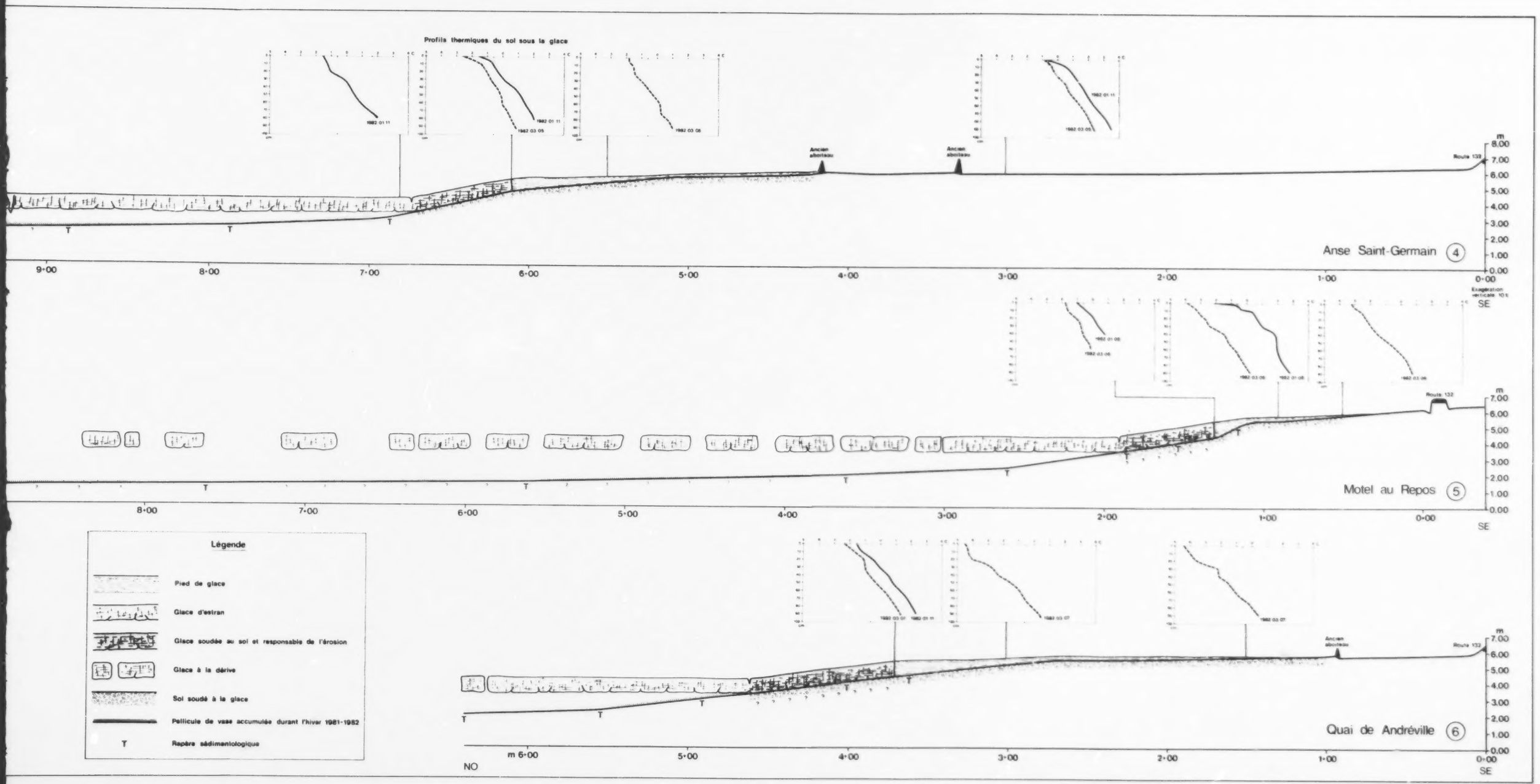


Figure 8b

Profils de la glace de rive aux stations-témoins 4, 5 et 6.

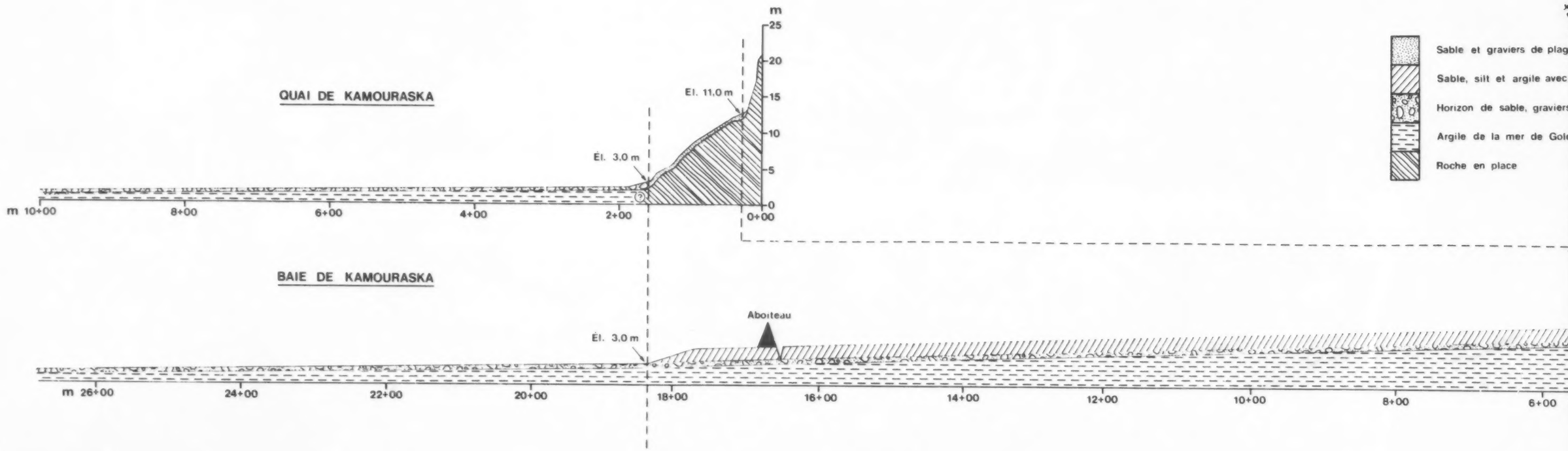


Figure 10

Profils stratigraphiques des deux principaux typ

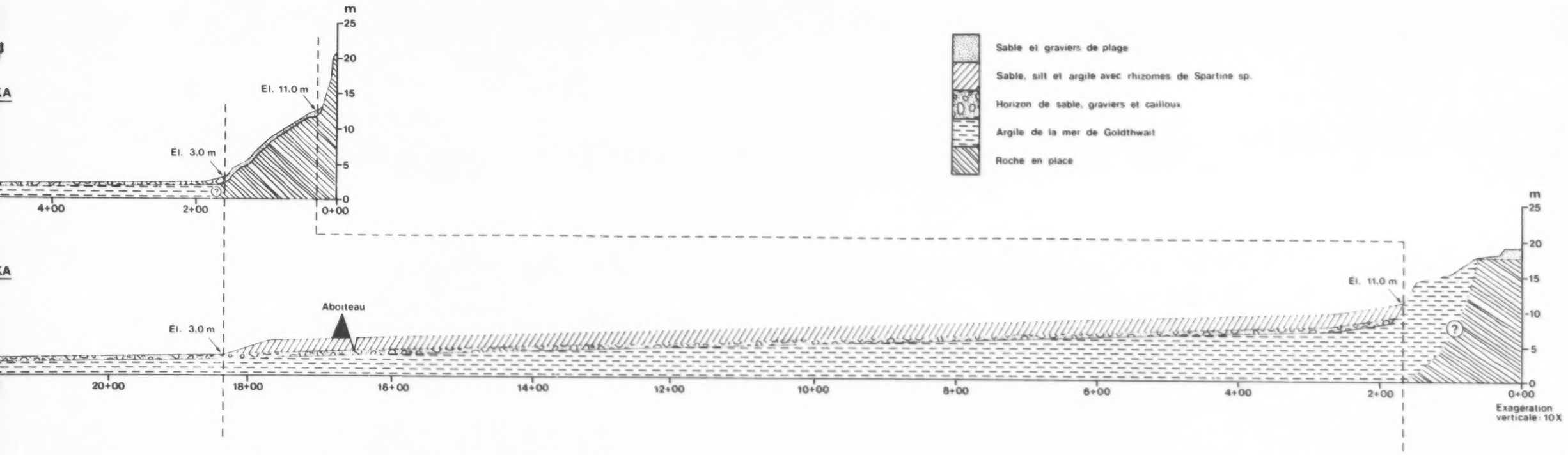


Figure 10

Profils stratigraphiques des deux principaux types d'estran dans la région de Kamouraska.

ANNEXE

Description de coupes stratigraphiques dans la Baie de Kamouraska*

Coupe 1 Dans la vasière, à 2,9 m d'altitude on observe depuis la surface:

de 0 à 0,30 m : sable, graviers et cailloux avec fucus et coquillages.

de 0,30 à 8,0 m : silt et argile gris foncé.

Coupe 2 Dans la zone de spartine alterniflore à 3,7 m d'altitude, on observe depuis la surface:

de 0 à 0,45 m : silt argileux avec un peu de sable fin (courbe 2.1), rhizomes de spartine alterniflore.

de 0,45 à 0,52 m : lits de sable moyen avec un peu de sable fin et grosinser (courbe 2.2) coquillages de Macoma balthica.

de 0,52 à 0,67 m : graviers et cailloux.

plus de 0,67 m : silt avec un peu d'argile et de traces de sable (courbe 2.3).

Coupe 3 Dans la zone de spartine étalée, à 5,4 m d'altitude, on observe depuis la surface:

de 0 à 0,11 m : silt et argile avec rhizomes de spartine étalée.

de 0,11 à 0,40 m : silt argileux avec un peu de sable fin (courbe 3.1), rhizomes de spartine étalée et de spartine alterniflore, 6,0% de matières organiques.

de 0,40 à 1,70 m : silt argileux gris avec traces de sable fin (courbe 3.2) rhizomes de spartine alterniflore, 7,2% de matière organique.

de 1,70 à 1,90 m : sable et graviers et cailloux.

de 1,90 m et plus : silt et argile gris foncé.

NOTE: Un échantillon de coquillages (Macoma balthica et Mya arenaria) fut prélevé dans l'horizon de sable, de graviers et de cailloux à 1,8 m sous la surface (Altitude 4,0 m) à proximité de cette coupe. L'âge isotopique des coquillages tel que déterminé par le Laboratoire Krueger Enterprises Inc., donne 1100 ± 115 ans B.P. (GX-8961).

* Pour situer les coupes, le lecteur est prié de se référer à la figure 5. Par ailleurs, les courbes granulométriques des matériaux analysés sont présentées à la figure 6 et portent un numéro de référence qui apparaît dans la description.

Coupe 4 Dans la zone de l'herbaçaie salée, à 5,7 m d'altitude, on remarque depuis la surface:

de 0,0 à 0,05 m	:	matière organique.
de 0,05 à 0,06 m	:	laisse de mer/débris organiques grossiers.
de 0,06 à 0,29 m	:	silt argileux brun avec rhizomes de spartine étalée.
de 0,29 à 0,31 m	:	laisse de mer (débris organiques grossiers).
de 0,31 à 0,70 m	:	silt et sable fin brun avec rhizomes de spartine étalée (40%) et de spartine alterniflore (60%).
de 0,70 à 1,75 m	:	silt et sable fin gris, avec rhizomes de spartine alterniflore. Lits de sable fin à moyen avec coquillages.
de 1,75 à 2,0 m	:	sable, graviers et cailloux.
de 2,0 m et plus	:	silt et argile gris.

Coupe 5 Dans la zone de l'herbaçaie salée, à 6,0 m, on observe depuis la surface:

de 0 à 0,10 m	:	matière organique.
de 0,10 à 0,40 m	:	silt et argile avec traces de sable fin gris (courbe 5.1), rhizomes de spartine, 6,6% de matière organique.
de 0,40 à 0,90 m	:	silt argileux avec un peu de sable fin (courbe 5.2), rhizomes de spartine étalée (50%) et de spartine alterniflore (40%), 5,2% de matière organique.
de 0,90 à 1,70 m	:	silt avec un peu de sable fin (courbe 5.3), rhizomes de spartine alterniflore, 2,5% de matière organique.
de 1,70 à 1,90 m	:	sable fin fossilifère.
de 1,90 m et plus	:	silt et argile gris.

NOTE: Un échantillon de coquillages et un autre de bois furent prélevés à 1,5 m sous la surface (altitude 4,5 m) à proximité de cette coupe. Les échantillons furent pris dans un lit de sable qui recoupait l'unité de silt avec des rhizomes de spartine alterniflore. L'âge isotopique des échantillons tel que déterminé par le Laboratoire de géochronologie du Ministère de l'Energie et des Ressources (Québec) donne 780 ± 70 ans B.P. (QU-1381) pour l'échantillon de coquillages et 570 ± 70 ans B.P. pour le morceau de bois (QU-1380).

Coupe 6 A la limite de la zone des champs cultivés, à l'altitude de 6,5 m, on observe depuis la surface:

de 0 à 0,17 m	:	matière organique remaniée.
de 0,17 à 0,42 m	:	silt argileux avec un peu se sable fin (courbe 6.1), rhizomes de spartine étalée.
de 0,42 à 0,95 m	:	silt avec un peu d'argile et de sable fin (courbe 6.2), rhizomes de spartine étalée (60%) et de spartine alterniflore (40%), 3,5% de matière organique.
de 0,95 à 1,40 m	:	silt avec un peu de sable fin (courbe 6.3), rhizomes de spartine alterniflore, 3,7% de matière organique.
de 1,40 à 1,45 m	:	sable, gravillons et un peu de coquillages.
de 1,45 à 1,60 m	:	silt avec un peu de sable fin, rhizomes de spartine alterniflore, 2,7% de matière organique.
de 1,60 à 1,90 m	:	sable et graviers.
de 1,90 à 2,0 m	:	sable et silt.
de 2,0 m et plus	:	silt et argile gris.

NOTE: Un échantillon de coquillages fut prélevé dans l'horizon de sable, gravier et cailloux à 2,0 m (altitude 4,7 m) sous la surface près de cette coupe. L'âge isotopique des coquillages tel que déterminé par le Laboratoire Krueger Enterprises Inc. donne 1775 ± 145 ans B.P. (GX-9104).

47°30' 77°05' 77°00' 47°35' 69°55'

Fleuve St-Laurent

Grande Île
Île Brulé
Les Rochers
ÎLES DE KAMOURASKA
Île aux Corneilles
La Caye
Île de la Providence
Île aux Patins

Pointe aux Orignaux
Pointe St-Denis
Pointe Iroquois
Anse St-Denis
Cap au Diable
Île aux Harengs
Îlot Julien
Baie de Kamouraska
Kamouraska
Cap Tache
Pointe de la Rivière Ouelle
St-Denis
Rivière-Ouelle
Rivière Ouelle
Bras des Aulnaies
Rivière Kamouraska
St-Germain
St-Pascal
St-Philippe-de-Néri
St-Pacôme
47°25'
70°00'
69°50'
47°30'
69°45'

69°55' 47°40' 69°50'

Fleuve St-Laurent

69°45'

Le Long Pèlerin

Le Petit Pèlerin

Grande Île

Île Brulé

Les Rochers

ÎLES DE KAMOURASKA

Île aux Corneilles

La Caye

Île de la Providence

Île aux Patins

Pointe St-André

Andréville

Îlot Julien

Kamouraska

Cap Tache

Îlots de la Ferme

Île Dumais

St-Germain

Rivière Kamouraska

Ste-Hélène

St-André-Station

St-Pascal

47°30'

69°45'

47°35'

69°40'

69°45'

Légende

- **8b** Silts et sables d'estrans
- **8a** Alluvions
- **7a** Sables et graviers fluviatiles
- **6** Sédiments marins
  - **a** Argiles et silts
  - **b** Sables et graviers littoraux
- **1** Till
- Tourbières
- Marécages
- Roche en place
- Talus
- Crêtes de plages
- o^{F} Trou de forage

Source: Martineau, G. et al., 1977. Géologie des dépôts meubles de la région de Kamouraska-Rivière-du-Loup. Ministère des Richesses naturelles, Québec. DPV-545.

Complétée par R. Denis, Les Consultants SOGEAM inc.

1000 0 1000 2000 mètres

LES CONSULTANTS SOGEAM

Géologie du Quaternaire

Carte: 1 | Décembre 1982

70°08'

47°30'

70°00'

Fleuve Saint - Laurent

Pointe aux Orignaux

Pointe-aux-Orignaux

Pointe-aux-Orignaux

Pointe Iroquois

Pointe Saint-Denis

70°05'

Anse Saint-Denis

Pointe de la Rivière Ouelle

47°25'

Rivière Ouelle

Rivière-Ouelle

Saint-Denis

Ruisseau des Ilets

Rivière Ouelle

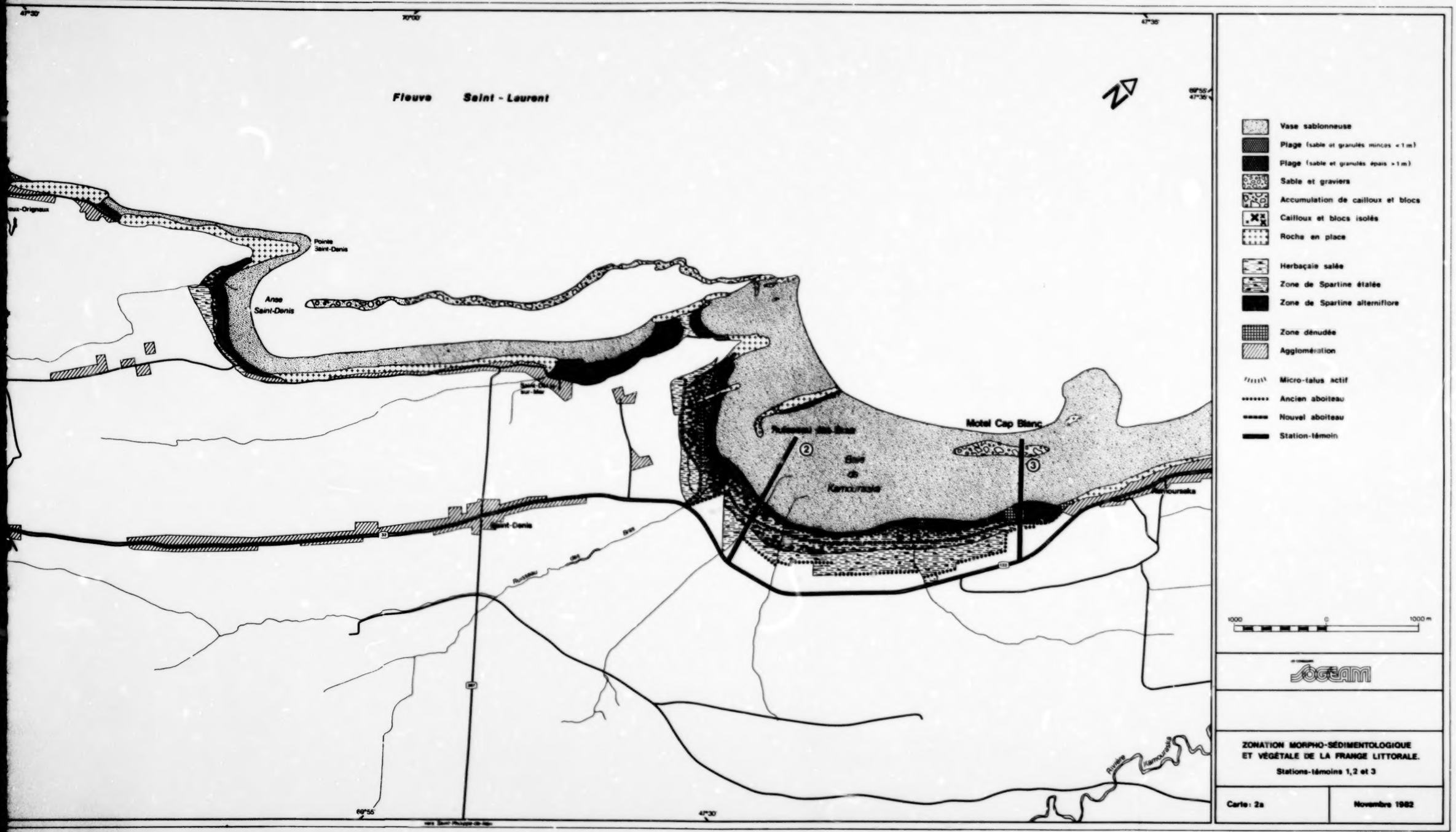
70°00'

47°25'

66°55'

vers La Pocatière

vers Saint-Philippe-de-Néri


Fleuve Saint - Laurent
Pointe Saint-Denis
Anse Saint-Denis
Motel Cap Blanc
Saint-Denis
Kamouraska
Vase sablonneuse
Plage (sable et granulés minces < 1 m)
Plage (sable et granulés épais > 1 m)
Sable et graviers
Accumulation de cailloux et blocs
Cailloux et blocs isolés
Roche en place
Herbaçaie salée
Zone de Spartine étalée
Zone de Spartine alterniflore
Zone dénudée
Agglomération
Micro-talus actif
Ancien aboiteau
Nouvel aboiteau
Station-témoin
1000
0
1000 m
SOGEAM
ZONATION MORPHO-SÉDIMENTOLOGIQUE ET VÉGÉTALE DE LA FRANGE LITTORALE.
Stations-témoins 1, 2 et 3
Carte: 2a
Novembre 1982

ÎLES DE KAMOURASKA

Fleuve Saint-Laurent

Motel au Repos

⑤

Anse Saint-Germain

④

Rivière Kamouraska

Saint-Germain

132

47°35

69°50

69°45

69°50'
47°40'
69°45'
47°35'
69°45'
47°40'

Fleuve Saint-Laurent

Motel au Repos
⑤

Quai de Andréville
⑥

Andréville

132

Vers Rimouski

Saint-Germain

1000 0 1000 m

- Vase sablonneuse
- Plage (sable et granulés minces < 1 m)
- Plage (sable et granulés épais > 1 m)
- Sable et graviers
- Accumulation de cailloux et blocs
- Cailloux et blocs isolés
- Roche en place
- Herbaçaie salée
- Zone de Spartine étalée
- Zone de Spartine alterniflore
- Zone dénudée
- Agglomération
- Micro-talus actif
- Ancien aboiteau
- Nouvel aboiteau
- Station-témoin

SOGÉAM

ZONATION MORPHO-SÉDIMENTOLOGIQUE ET VÉGÉTALE DE LA FRANGE LITTORALE.

Stations-témoins 4, 5 et 6

Carte: 2b

Novembre 1982